



**TUGAS AKHIR - SF 141501**

**ANALISA MOMEN TENSOR DAN FOKAL MEKANISME PADA  
GEMPA 5 TAHUN TERAKHIR DI WILAYAH BOSO  
PENINSULA, JEPANG**

**Meliana Susanti  
NRP 1112100109**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. rer.nat. Bagus Jaya Santosa, S.U**

**DEPARTEMEN FISIKA  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**





**TUGAS AKHIR - SF 141501**

**ANALISA MOMEN TENSOR DAN FOKAL MEKANISME PADA  
GEMPA 5 TAHUN TERAKHIR DI WILAYAH BOSO  
PENINSULA, JEPANG**

**Meliana Susanti  
NRP 1112100109**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. rer.nat. Bagus Jaya Santosa, S.U**

**DEPARTEMEN FISIKA  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**



**FINAL PROJECT - SF 141501**

**MOMENT TENSOR AND FOCAL MECHANISM ANALYSE  
FOR FIVE YEARS BOSO PENINSULA, JAPAN  
EARTHQUAKE**

**Meliana Susanti  
NRP 1112100109**

**Advisors  
Prof. Dr. rer.nat . Bagus Jaya Santosa, S.U**

**DEPARTMENT OF PHYSICS  
Faculty of Mathematics and Science  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**

## **TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi  
Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
Pada  
Bidang Studi Fisika Bumi  
Program Studi Strata 1  
Departemen Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Disusun Oleh :

**Meliana Susanti**  
**NRP. 1112 100 109**

**DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN  
ALAM INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISA MOMEN TENSOR DAN FOKAL MEKANISME PADA GEMPA 5 TAHUN TERAKHIR DI WILAYAH BOSO PENINSULA, JEPANG TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

**Meliana Susanti**  
**NRP. 1112 100 109**

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

**Prof. Dr. rer.nat. Bagus Jaya Santosa, S.U**  
**NIP. 19620802 198701 1 001**

(.....)



# **ANALISA MOMEN TENSOR DAN FOKAL MEKANISME PADA GEMPA 5 TAHUN TERAKHIR DI WILAYAH BOSO PENINSULA, JEPANG**

**Nama : Meliana Susanti**  
**NRP : 1112100109**  
**Departemen : Fisika FMIPA ITS**  
**Dosen Pembimbing : Prof.Dr.rer.nat. Bagus Jaya Santosa,S.U**

## **ABSTRAK**

Jepang merupakan salah satu Negara yang dihipit oleh 4 lempeng utama dunia yang menyebabkan Jepang sering mengalami gempa bumi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis dan arah patahan dan nilai rerata pergeseran yang disebabkan oleh gempa bumi di wilayah Boso Peninsula, Jepang selama 5 tahun. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *database* gempa dari NIED periode 1 Januari 2011 hingga 23 September 2016 berkekuatan 4.8 SR hingga 6.7 SR.. Metodologi penelitian ini dilakukan dengan menggunakan inversi tiga komponen gelombang seismik yang terekam dalam seismogram dan penggambaran bidang sesar menggunakan prinsip momen tensor dan focal mekanisme dalam *beachball* melalui pengolahan dengan program ISOLA dan HCPLLOT berbasis GUI pada *software* MATLAB. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa pada wilayah Boso selama 5 tahun besar momen tensor berkisar antara  $1.86\text{e}+17$  hingga  $9.50\text{E}+14$  Nm, dengan jenis sesar bervariasi yaitu sesar *strikeslip* sebanyak 6 *event*, *oblique* sebanyak 8 *event*, *reserve* sebanyak 10 *event* , normal sebanyak 6 *event*, dan besar rerata pergeseran adalah sebesar 6.2 cm.

***Kata kunci : beachball, gempa, mekanisme focal, momen tensor, dan pola sesar.***

***MOMENT TENSOR AND FOCAL MECHANISM ANALYSE  
FOR FIVE YEARS BOSO PENINSULA, JAPAN  
EARTHQUAKE***

**Name** : Meliana Susanti  
**NRP** : 1112100109  
**Department** : Physics FMIPA ITS  
**Advisor** : Prof.Dr.rer.nat. Bagus Jaya Santosa,S.U

**ABSTRACT**

*Japan is one of the countries surrounded by four major plates of the world that cause Japan often experience earthquakes. This study aims to determine the type and direction of fracture and the average value of shifts caused by earthquakes in Boso Peninsula region, Japan for 5 years. This study was conducted using earthquake database from NIED period January 1, 2011 to 23 September 2016 measuring 4.8 SR to 6.7 SR. The methodology of this research was conducted by using the inversion of three components of seismic waves recorded in the seismogram and the description of the fault field using the principle of tensor moment and focal mechanism in the beachball through processing with ISOLA program and GUI based HCPLLOT on MATLAB software. So it can be concluded that in Boso area for 5 years big moment tensor moment ranged between  $1.86 \times 10^{17}$  until  $9.50 \times 10^{14}$  Nm, with variation of fault type that is strikeslip fault 6 event, oblique 8 event, reserve 10 event, and normal 6 events, and the average displacement is 6.2 cm.*

***Keywords : beachball, earthquake, focal mechanism, moment tensor, sesar model.***



## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis sampaikan kehadiran Allah Tritunggal, Allah Bapa, Allah Anak, dan Allah Roh Kudus atas berkat, hikmat dan anugerah yang telah dilimpahkan sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir. Serta syukur kepada Yesus Kristus dan para Rasul yang telah memberikan teladan kehidupan dalam Kitab Suci Alkitab. Tugas Akhir (TA) ini penulis susun sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana di departemen Fisika FMIPA ITS dengan judul:

### **ANALISA MOMEN TENSOR DAN FOKAL MEKANISME PADA GEMPA 5 TAHUN TERAKHIR DI WILAYAH BOSO PENINSULA, JEPANG**

Penulis mendedikasikan Karya Tulis ini kepada masyarakat Indonesia guna berpartisipasi dalam perkembangan ilmu pengetahuan di bidang sains dan teknologi. Penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya Santosa, S.U selaku dosen pembimbing tugas akhir dalam memberi bimbingan, dan wawasan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini.
2. Keluarga tercinta, Ayahanda Liston Simarmata dan Ibunda Lambok Purba Siboro atas doa dan dukungan baik materil maupun moral, serta saudara-saudari terkasih penulis, Intan Yunita Simarmata, Boy Victor Parasian Simarmata, Putri Angelia Simarmata, dan Ronaldo Marpangidoan Simarmata, serta abang sepupu Immanuel M. Simarmata.
3. Sahabat penulis, Hernawati Samosir, Advent Hutajulu, Rizky Tri W.P., dan Rina R.R.Penggalih.
4. Bapak Dr. Sungkono, M.Si dan Bapak Heru Sukamto, M.Si selaku dosen penguji pada tugas akhir ini atas kritik, saran, dukungan dalam ilmu yang membangun penulis.

5. Marlia E., Dewi ., Priska B., dan teman-teman Perkantas Jawa Timur, serta kawan-kawan Naposobulung HKBP Manyar selaku keluarga di Surabaya yang telah memberikan dukungan moral selama masa belajar penulis terlebih dalam proses pelaksanaan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Lila Yuwana, M.Si dan Bapak Endarko, M.Si., Ph.D. selaku dosen wali yang telah memberikan saran yang berhubungan dengan mata kuliah selama masa kuliah penulis.
7. Teman satu bimbingan dan seperjuangan, Venny R., Meindy, Haqqi, dan Yossita, terimakasih atas semangat dan perjuangan yang telah kita lewati dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Teman-teman kelompok bidang studi material, I Dewa W, Lazuardi A., Fabet A, Ryandika R., dan Nadhilah S. yang turut memberi dukungan kepada penulis.
9. Teman-teman kelompok bidang studi instrumentasi akustik, Gita D.P, Wildan H., Habib T., dan Awang Krisna. yang turut memberi dukungan kepada penulis
10. Kepada Zumrotus Saadah Abaz, Adik Pambayun Purbandini, Mas M. Mifta Hasan dan Mas Andi Herlambang yang banyak memberikan bantuan dan dukungan dalam penelitian Tugas Akhir ini.
11. Segenap teman-teman Fisika FBI 2012 dan teman-teman Laboratorium Fisika Bumi ITS yang telah memberikan dukungan terbaik untuk penulis dan mengisi keseharian penulis dengan keceriaan dan kerjasama selama masa belajar penulis.
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan laporan ini terdapat kekurangan. Sehingga Penulis meminta kritik dan saran pembaca yang dapat membantu untuk menyempurnakan laporan ini. Akhir kata semoga laporan ini bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin Ya Rabbal Alamiin.

Surabaya, Juni 2017

Penulis  
meliana.s12@mhs.physics.its.ac.id

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
COVER .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iv
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Sistematik Penelitian .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Lokasi dan Geologi Regional .....	5
2.2 Gempa Bumi .....	8
2.3 Sesar .....	10
2.4 Gelombang .....	11
2.5 Momen Tensor .....	15

2.6 Fokal Mekanisme .....	17
2.7 ISOLA GUI.....	18
BAB III METODOLOGI .....	22
3.1 Tahap-Tahap Penelitian .....	22
3.2 Studi Literatur .....	23
3.3 Data Penelitian .....	23
3.4 Pengolahan Data dan Konversi Data .....	23
3.5 Perhitungan Data.....	25
3.6 Analisa dan Pembahasan.....	25
3.7 Kesimpulan .....	26
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	28
4.1. Analisa Data .....	28
4.2. Hasil Pengolahan.....	30
4.2.1. Momen Tensor .....	30
4.2.2. Pola Bidang Patahan dan Karakter Sesar .....	33
4.3. Hasil Perhitungan .....	38
4.4. Pembahasan .....	40
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	44
5.1. Kesimpulan.....	44
5.2. Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA.....	46
Lampiran 1 HASIL INVERSI MOMENT TENSOR TIAP <i>EVENT</i> .....	48
Lampiran 2 HASIL INVERSI ONSERVASI DAN <i>REAL</i> .....	65
Lampiran 3 KURVA ONSERVASI DAN <i>REAL</i> FREKUENSI NIED .....	83

Lampiran 4 BIDANG PATAHAN BERDASARKAN HC PLOT	
.....	89
Lampiran 5 POLA BEACHBALL BOSO PENINSULA 5	
TAHUN.....	99

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Geologi regional Boso, Peninsula, Jepang. (Kazaoka et al., 2015).....	5
Gambar 2. 2 Pergerakan Lempeng Bumi. ....	11
Gambar 2. 3 Gelombang <i>body</i> . (Elnashai and Sarno, 2008) .....	14
Gambar 2. 4 Gelombang <i>shear</i> . (Elnashai and Sarno, 2008) .....	14
Gambar 2. 5 Penjalaran gelombang seismik. ....	15
Gambar 2. 6 Sistem pasangan komponen momen tensor dalam koordinat kartesian. ....	17
Gambar 2. 7 <i>Focal Sphere</i> dan hubungannya terhadap sesar(Shearer, Peter M, 2009). ....	17
 Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	22
Gambar 3. 2 Lokasi Stasiun perekam gempa Boso Jepang .....	24
 Gambar 4. 1 <i>Beachball</i> Region FAR SE OFF BOSO PENINSULA.....	35
Gambar 4. 2 <i>Beachball</i> Region FAR S OFF BOSO PENINSULA .....	35
Gambar 4. 3 <i>Beachball</i> Region KUJUKURI BOSO PENINSULA .....	36
Gambar 4. 4 <i>Beachball</i> Region EAST OFF BOSO PENINSULA .....	36
Gambar 4. 5 <i>Beachball</i> dan Bidang Patahan <i>event</i> tanggal 02122011 pukul 20.55.....	41

## DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 <i>Event</i> pada Region FAR SE OFF BOSO PENINSULA .....	28
Tabel 4. 2 <i>Event</i> pada Region FAR S OFF BOSO PENINSULA .....	28
Tabel 4. 3 <i>Event</i> pada Region KUJUKURI.....	28
Tabel 4. 4 <i>Event</i> pada Region EAST OFF BOSO PENINSULA	28
Tabel 4. 5 Koordinat Stasiun Gempa Boso Peninsula, Jepang.....	29
Tabel 4. 6 Momen Tensor pada Region FAR SE OFF BOSO PENINSULA .....	30
Tabel 4. 7 Momen Tensor pada Region FAR S OFF BOSO PENINSULA .....	31
Tabel 4. 8 Momen Tensor pada Region KUJUKURI .....	31
Tabel 4. 9 Momen Tensor pada Region EAST OFF BOSO PENINSULA .....	31
Tabel 4. 10 Perbandingan Momen Skalar Penelitian dan NIED	32
Tabel 4. 11 Besar Rerata Momen Tensor Gempa Boso Peninsula, Jepang .....	33
Tabel 4. 12 Patahan pada Region FAR SE OFF BOSO PENINSULA .....	33
Tabel 4. 13 Patahan pada Region FAR S OFF BOSO PENINSULA .....	34
Tabel 4. 14 Patahan pada Region KUJUKURI .....	34
Tabel 4. 15 Patahan pada Region EAST OFF BOSO PENINSULA .....	34
Tabel 4. 16 Jarak dan Arah Penyebab Gempa Bumi Region FAR SE OFF BOSO PENINSULA.....	36
Tabel 4. 17 Jarak dan Arah Penyebab Gempa Bumi Region FAR S OFF BOSO PENINSULA .....	37
Tabel 4. 18 Jarak dan Arah Penyebab Gempa Bumi Region KUJUKURI .....	37
Tabel 4. 19 Jarak dan Arah Penyebab Gempa Bumi Region EAST OFF BOSO PENINSULA .....	37



Tabel 4. 20 Hasil Perhitungan <i>Displacement</i> Region FAR SE OFF Boso Peninsula Jepang.....	38
Tabel 4. 21 Hasil Perhitungan <i>Displacement</i> Region FAR S OFF Boso Peninsula Jepang.....	39
Tabel 4. 22 Hasil Perhitungan <i>Displacement</i> Region Kujukuri ..	39
Tabel 4. 23 Hasil Perhitungan <i>Displacement</i> Region EAST OFF Boso Peninsula Jepang.....	39

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	HASIL INVERSI MOMENT TENSOR TIAP <i>EVENT</i> .....	48
Lampiran 2	HASIL INVERSI ONSERVASI DAN <i>REAL</i> .....	65
Lampiran 3	KURVA ONSERVASI DAN <i>REAL</i> FREKUENSI NIED.....	83
Lampiran 4	BIDANG PATAHAN BERDASARKAN HCLOT .....	89
Lampiran 5	POLA BEACHBALL BOSO PENINSULA 5 TAHUN .....	99

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Seiring dengan perkembangan zaman yang semakin maju, semakin besar pula jumlah penduduk yang perlu menempati suatu wilayah tertentu dan akan semakin membutuhkan daerah baru yang dapat ditempati. Daerah atau wilayah yang baik untuk ditempati sangat bergantung pada pergerakan lempeng bumi, semakin stabil daerah tersebut maka semakin baik untuk ditinggali. Namun daerah lempeng stabil sangat jarang ditemui, karena hampir seluruh wilayah merupakan pertemuan dua atau lebih lempeng utama dunia yang selalu bergerak. Pergerakan lempeng akan mengakibatkan gempa bumi pada bidang pertemuan ketika bertabrakkan dengan lempeng lainnya. Gempa bumi merupakan salah satu fenomena alam yang tak dapat dicegah karena lebih sering terjadi secara tiba-tiba. Gempa bumi dapat menimbulkan bencana dan kerugian fisik atau materi yang cukup besar. Pemahaman secara fisis tentang gempa bumi dan hubungan alami dengan erupsi vulkanik dan gelombang tsunami sangat berguna untuk membantu mitigasi bencana. Negara yang berada dalam *Ring of Fire* diantaranya adalah Negara Indonesia dan Jepang. Berada pada daerah *Ring of Fire* membuat pemahaman dalam bidang gempa bumi vulkanik dan kaitannya sangat penting untuk keselamatan masyarakat, selain itu magma yang keluar dari vulkanik dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan. Jepang terletak pada pertemuan 4 lempeng utama dunia yaitu, Lempeng Pasifik, Filipina, Amerika Utara, dan Lempeng Eurasia. Jepang menjadi salah satu negara rawan akan bencana gempa bumi dan tsunami.

Salah satu analisa gempa yang sering dilakukan adalah untuk mengetahui mekanisme penyebab gempa dan karakteristik arah gerak sesar, dan untuk memahami struktur dan dinamika dalam bumi serta mekanisme gempa bumi melalui estimasi parameter sumber gempa. Cara pemodelan mengenai karakteristik

sesar penyebab gempa bumi salah satunya dengan pemodelan momen tensor gempa bumi, yang dilakukan dengan inversi menggunakan fungsi *Green* tiga komponen. Parameter gempa bumi adalah skala, kedalaman, energi gempa bumi, dan pola bidang patahan penyebab gempa bumi. “Relokasi hiposenter untuk data gempa bumi di wilayah Sumatra Barat dan sekitarnya menggunakan Hypo71” oleh (Nainggolan and Santosa, 2013), “Estimasi pola bidang sesar dan *moment* tensor gempa bumi Jepang menggunakan analisis inversi *Waveform* 3 komponen” oleh (Wifayanti and Santosa, 2014), “Estimasi *centroid*, bidang sesar, durasi *Rupture* dan permodelan deformasi vertikal sumber gempa bumi sebagai potensi bahaya tsunami di Laut Selatan Jawa” oleh (Khoiridah and Santosa, 2014).

Sehingga diperlukan penelitian Tugas Akhir ini untuk menentukan momen tensor, karakteristik dan pola bidang sesar, serta besar *slip* berdasarkan *event* gempa 5 tahun terakhir di wilayah Boso Peninsula, Jepang dengan kekuatan gempa berkisar antara 4.8 SR dan 6.7 SR. Data dalam format .SAC yang berisi data momen tensor *event* gempa pada beberapa stasiun di wilayah Boso Peninsula, Jepang, berasal dari *database* NIED (*National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention*) [www.fnet.bosai.jp](http://www.fnet.bosai.jp). Data penelitian ini diolah menggunakan program ISOLA GUI mengenai momen tensor dan fokal mekanisme *event* gempa. *Ploting* geometri sesar berdasarkan geologi regional dan letak hiposenter, dan pemetaan jenis sesar berdasarkan *beachball* menggunakan program GMT (*Generic Mapping Tools*) yang dikorelasikan dengan bidang sesar dan *auxiliary plane* dari program *HC-plot*. Dalam penelitian ini digunakan hubungan antar *beachball* pada setiap stasiun dan *event* gempa dalam menggambarkan sesar pada wilayah Boso Peninsula, Jepang. Sehingga besar *slip* rerata akibat *event* selama 5 tahun dapat dihitung.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, dapat dirumuskan beberapa pokok permasalahan yaitu gempa yang terjadi pada wilayah Boso Peninsula, Jepang selama 5 tahun terakhir?

1. Bagaimana mengetahui pola bidang sesar dan karakteristik sesar sumber gempa?
2. Berapa besar *slip* dari sesar yang dihasilkan *event* gempa bumi?

## 1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini, yaitu:

1. Menentukan besarnya momen tensor dari *event* gempa yang terjadi pada wilayah Boso Peninsula, Jepang selama 5 tahun.
2. Mengetahui pola bidang dan karakteristik sesar dari mekanisme sumber gempa dengan menggunakan ISOLA.
3. Menentukan besar *slip* dari sesar yang dihasilkan *event* gempa bumi di wilayah Boso Peninsula Jepang.

## 1.4 Batasan Masalah

Penelitian tugas akhir ini dibatasi pada mekanisme fokal mekanisme gempa bumi Boso Peninsula, Jepang dengan magnitudo antara 4.8 SR hingga 6.7 SR menggunakan program ISOLA GUI.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pola dan arah bidang sesar dan pergeseran akibat gempa bumi di wilayah Boso Peninsula, Jepang selama 5 tahun serta dapat digunakan sebagai referensi dalam upaya mitigasi bencana.

## 1.6 Sistematik Penelitian

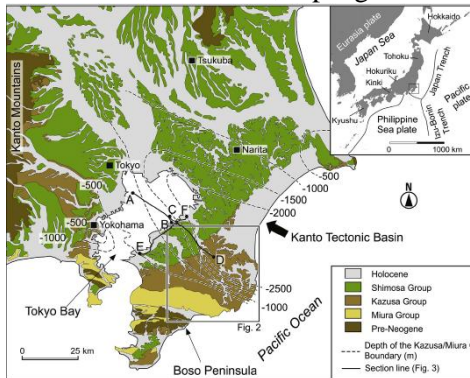
Penulisan laporan tugas akhir ini tersusun dari 5 bab, yaitu Bab I menjelaskan latar belakang dilakukannya penelitian ini, tujuan yang diharapkan dapat dicapai, pembatasan masalah agar lebih spesifik penelitiannya, manfaat penelitian tugas akhir ini, dan sistematik penulisan. Bab II menjelaskan tinjauan pustaka yang di dalamnya terdapat konsep *earthquake*, *moment* tensor, dan fokal mekanisme. Bab III menjelaskan proses pengolahan data *moment* tensor meliputi studi literatur, pengolahan data gempa dengan metode *moment* tensor dan fokal mekanisme dan analisa *beachball* hasil pengolahan *plotting*. Bab IV menjelaskan data yang digunakan dan pembahasan mengenai hasil pengolahan data menggunakan metode momen tensor dan fokal mekanisme dalam menentukan pola dan karakteristik sesar hingga perhitungan pergeseran akibat gempa. Bab V terdapat hasil akhir berupa poin-poin kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Lokasi dan Geologi Regional

Lokasi penelitian berada di wilayah Boso Peninsula, Jepang dengan koordinat posisi  $34^{\circ}00'02''$  hingga  $35^{\circ}64'28''$  Lintang Utara dan  $139^{\circ}81'88''$  hingga  $141^{\circ}84'38''$  Bujur Timur. Berikut peta lokasi penelitian di Boso, Peninsula, Jepang:



**Gambar 2. 1 Geologi regional Boso, Peninsula, Jepang. (Kazaoka et al., 2015)**

Tektonik setting Jepang yang unik terdiri atas dua sistem subduksi yaitu Lempeng Laut Filipina dibawah lempeng Amerika Utara (Orhostk) dan Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik dibawah Lempeng Filipina dan Amerika Utara. Prisma akresi Miura-Boso ditutupi oleh deposito parit-lereng basin muda pasca Pliosen. Chikura Grup meluas E-W mengikuti deposit lereng-cekungan di Semenanjung Boso, yang ditandai dengan synsedimentary lipatan dengan arah sama, menunjukkan deposisi dalam tidak stabil dan tektonik dikendalikan lembah parit-lereng. Busur kepulauan Izu-Bonin, di Lempeng Laut Filipina, mulai bertabrakan dengan busur Honshu selama pertengahan Miocene mengakibatkan peningkatan lentur utara dan cepat arsitektur geologi di Honshu. Sedimen *Nonmetamorphosed* telah cepat terangkat dan terpapar pada semenanjung Miura dan Boso dari pusat Jepang. Miosen atas ke bawah Pliosen Miura-Boso

*accretionary* prisma berkembang di bagian paling selatan dari semenanjung Miura dan Boso. Deformasi terkait akresi, regangan geser, dan migrasi fluida semua jelas lokal dalam bagian struktural lebih rendah dari prisma akresi. Berdasarkan stratigrafi dan kronologis didapat bahwa sedimen Grup Chikura semakin memendek dibanding dasar prisma akresi dan bergeser ke utara dari waktu ke waktu. (Yamamoto, 2014).

Cekungan sedimen terbuka di Boso dibagi menjadi 2 kelompok : Sabuk Mineoka Tektonik sebagai sabuk parit-lereng yang membagi cekungan *fore-arc* dengan sedimen *oceanward*. Sedimen Neogen didistribusi di utara sabuk Mineoka tektonik milik Hota, Miura, dan Kasuza Group. Hota Group terdiri dari batu pasir, batu lumpur, dan tuf dibawah kedalaman kompensasi karbonat. Miura Group termasuk Kinone, Amatsu, Kiyosumi, dan Anno Formasi terdiri dari sedimen kapur dan ignimbrit. Sukses sisi utara sabuk Mineoka tektonik sesuai cekungan busur, dan sisi selatan sabuk Mineoka Tektonik yaitu bagian tengah dan selatan Semenanjung Boso, terdiri dari kompleks akresi basal (Miosen Bawah Hota Group dan Miosen untuk Pliosen Nishizaki Formasi) dan penutup sedimen parit-lereng bagian tengah ke atas Miosen Miura dan Kelompok Plio-Pleistosen Chikura). Parit-lereng sedimen dari Miura Grup berisi pasir/*clasts* kerikil *scoriaceous* berasal dari busur kepulauan Izu-Bonin. Asal kelompok Hota dan Miura di bagian tengah semenanjung berdasarkan korelasi lithostratigrafi dan khronostratigrafi mendefinisikan Formasi Kinone di Boso Semenanjung pusat. Namun, batas bawah formasi ini masih belum jelas, dan pembentukan itu sendiri di bagian barat daya semenanjung belum tentukan. Selain itu diferensiasi sedimen basin parit-lereng kecil yang terdiri dari hanya Formasi Amatsu, yaitu Minamiboso Group, dalam usia Miosen akhir berdasarkan biostratigrafi radiolarialian(Chiyonobu et al., 2016).

Kompleks Hota akresi, yang didistribusikan secara luas di daerah sedimen penutup parit-lereng, ditandai dengan deformasi geser intens, timur-barat-trending dan selatan-verging kali lipat dan dorong ikat pinggang, dan *calcareous microfossils* miskin



karena kompleks diendapkan di bawah CCD. Sebaliknya, *trenchslope* sedimen penutup yang terkena secara sporadis sepanjang Sorogawa Patahan dan kesalahan dorong terkait akresi lainnya. Mereka terdiri dari Kinone dan Amatsu Formasi di daerah ini dan memiliki struktur dasarnya *homoclinal*, kecuali untuk pelek utara yang dibatasi oleh kontak sesar timur-barat, dan kelimpahan yang tinggi dan keragaman mikrofosil berkapur. *Sandy siltstones* tanpa butir *scoriaceous* berkorelasi dengan Formasi Kinone selaras berbaring di atas yang Hota akresi kompleks. Batuan konglomerat basal, terdiri dari batulanau, tuff, dan clasts pasir terbreksikan, dikembangkan di bagian basal dari Formasi Kinone. Formasi Amatsu, terdiri dari bolak tidur dari batu pasir *scoriaceous* dan batulanau, selaras ignimbrit Formasi Kinone. Dalam bagian atasnya, Formasi Amatsu termasuk facies atas *coarsening*- dan diamati secara lokal *hummocky* lintas laminasi (Chiyonobu et al., 2016).

Evolusi geologi dari sistem *accretionary* dangkal dikembangkan di Boso Semenanjung pusat dibangun kembali berdasarkan biostratigrafi nannofosil berkapur di cekungan parit-lereng. Miocene Tengah Miura Grup meliputi *nannofossils* berkapur dan sedimen *scoriaceous* dan memiliki distribusi sporadis di sepanjang sesar sungkup terkait akresi di basement intens cacat dari Miosen Bawah Hota Grup. Mantan berkorespondensi dengan sedimen basin parit-lereng yang berbaring di atas yang Hota akresi kompleks. Hota Grup berkisar di usia 22-17 Ma, sedangkan Miura Grup berkisar from ca. 15-5,5 Ma. Jarak waktu pembentukan antara kompleks akresi dan atasnya lereng-cover oleh karena batuan sedimen telah diperkirakan di ca. 2 Ma. Pengendapan cekungan kedepan-busur di bagian utara dan cekungan parit-lereng di bagian tengah semenanjung mulai pada saat yang sama, dalam nannofosil BIOZONE berkapur NN5 (setelah sekitar 15 Ma), dengan pendangkalan dari baskom di atas CCD. The Izu- Bonin busur kepulauan bermigrasi ke dekat posisi sekarang sekitar 13- 12 Ma dan vulkanik klastik disediakan (scoria) ke cekungan lereng, yang

mengarah ke variasi litologi dari Kinone dan Amatsu Formasi. Bagian atas dari Formasi Amatsu coarsens ke atas dan menampilkan hummocky lintas laminasi, sesuai dengan urutan pendangkalan-atas. Pertambahan prisma akresi muda (Nishizaki Formasi) dan rotasi searah jarum jam yang terkait dengan tabrakan dari Izu-Bonin pulau busur terjadi antara ca. 7 dan 4 Ma. Pliosen ke Pleistosen sedimen parit-lereng (Kagamigaura Pembentukan dan Chikura Group) dibagikan di tepi Boso Semenanjung selatan. Secara keseluruhan, waktu akresi dan usia cekungan parit-lereng cenderung lebih muda ke selatan (Chiyonobu et al., 2016).

Lempeng Greenish terjadi di blok tambang tektonik Heurinaka dan daerah Shritaki yang terbentuk dari batu gamping dan certa. Dilain sisi ditemukan formasi plancktonic, radiolian fossil dan nenofossil berkapur pada usia awal Miocene. Di tambang Hegurinka beberapa lapisan diselingi dengan batuan serpihan glauconite kaya dengan lempung. Kapur-certa berada dibawah lapisan basaltik dan dibawah Certa-lempung. Fosil radiolian dengan lapisan serpih-certa melanjutkan usia awal Miosen membatasi antara Oligosen dengan Miosen. Dalam Serpih-certa lapisan certa lebih didominasi warna kehijauan dan tebal antara 20cm hingga 1 m. Certa hijau tua berpasir terjadi diatas hijau tebal (Chiyonobu et al., 2016).

## **2.2 Gempa Bumi**

Gempa bumi adalah getaran pada bumi yang disebabkan oleh tumbukan. Tumbukan tersebut dapat terjadi oleh beberapa hal, diantaranya interaksi antar lempeng bumi, patahan aktif aktivitas gunung api, atau runtuh batuan. Kekuatan gempa yang disebabkan aktifitas gunung api dan runtuh batuan relatif kecil dibandingkan akibat tumbukan antar lempeng bumi dan patahan aktif. Gempa bumi adalah perambatan energi pada medium rambat batuan atau lapisan batuan. Gempa bumi terjadi ketika lempeng samudra dengan rapat massa lebih besar bertumbukkan dengan lempeng benua di zona tumbukan (subduksi) dan menyusup kebawah. Gerakan tersebut mengalami perlambatan

akibat gesekan dari selubung bumi dan menyebabkan penumpukkan energi di zona subduksi dan patahan, sehingga terjadi tekanan, tarikan, dan getaran. Pada saat batas elastisitas lempeng terlampaui terjadi patahan batuan yang diikuti lepasnya energi secara tiba-tiba. Proses ini menimbulkan getaran partikel ke segala arah yang disebut gelombang gempa bumi.

Pengelompokkan gempa berdasarkan kedalaman fokal terbagi menjadi 3 kelompok, yakni gempa dangkal dengan pusat kurang dari 60 km, gempa menengah dengan pusat antara 60 sampai 300 km, dan gempa dalam dengan pusat lebih dari 300 km. Berdasarkan episenter gempa terbagi menjadi dua yaitu episenter linier dan sentral, dimana episenter linier adalah gempa dengan episentrum berbentuk garis yang berasal dari sumber gempa yaitu garis linier akibat patahan, sedangkan gempa sentral adalah gempa dengan episentrum berbentuk titik yang berasal dari gempa vulkanik dan gempa runtuh. Dan berdasarkan kekuatan gempa atau besarnya energi yang dilepaskan oleh sumber gempa (magnitudo) diukur dengan satuan Skala Richter (SR) terbagi menjadi 4 kelompok, yakni gempa lemah dengan magnitudo kurang dari 3.5 SR, gempa sedang dengan magnitudo antara 3.5 SR hingga 5.5 SR, gempa kuat dengan magnitudo antara 5.5 SR hingga 7 SR, dan gempa kuat dengan magnitudo lebih dari 7 SR. Sedangkan skala intensitas gempa diukur melalui MMI (*Modified Mercally Intensity*) berskala I-XII (C.F. Richter 1958 dan Markus Bath 1973).

### **Tektonik**

Gempa bumi tektonik disebabkan oleh adanya aktifitas tektonik, yaitu pergeseran lempeng tektonik secara tiba-tiba. Gempa bumi akibat tektonik ini banyak menimbulkan kerusakan atau bencana alam di bumi, getaran gempa bumi yang kuat mampu menjalar keseluruh bagian bumi. Menurut teori lempeng tektonik, bumi terdiri dari beberapa lapisan batuan yang sebagian besar area dari lapisan kerak akan hanyut dan mengapung di atas lapisan seperti salju di musim dingin yang jatuh keatas permukaan tanah. Lapisan tersebut bergerak perlahan sehingga

bertabrakan satu sama lain dan menyebabkan terjadinya gempa tektonik.

### **Vulkanik**

Gempa bumi akibat aktifitas gunung api terjadi sebelum, selama dan sesudah letusan gunung api. Gempa terjadi akibat adanya pertemuan antara magma dan dinding gunung api dengan tekanan gas pada letusan yang sangat kuat, atau perpindahan magma secara tiba-tiba dari dapur magma. Gempa vulkanik bersifat lemah dan terjadi secara lokal disekitar gunung api aktif. Berdasarkan kedudukan sumber gempa (posisi kegiatan magma) gempa vulkanik terbagi menjadi 4 jenis, yaitu gempa vulkanik dalam dengan kedalaman sumber gempa sekitar 2 hingga 30 km, gempa vulkanik dangkal dengan kedalaman sumber gempa kurang dari 2 km, gempa bumi ledakan dengan kedalaman sumber gempa kurang dari 1 km, dan gempa tremor yang terjadi terus-menerus dari kedalaman 30 km hingga permukaan.

### **Bumi Runtuhan**

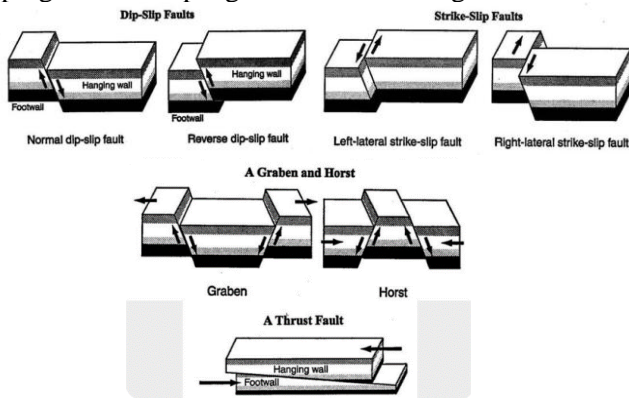
Runtuhnya lubang-luang interior seperti gua atau tambang batuan/mineral dalam bumi dapat menyebabkan getaran di atas permukaannya, namun getaran ini tidak terlalu besar dan terjadi hanya di setempat saja atau secara lokal. Sama seperti runtuhannya tabrakan benda langit/meteor juga dapat menyebabkan gempa bumi, namun getarannya tidak sampai terekam karena terjadi secara lokal dengan skala yang kecil dan jarang terjadi.

Pada masing-masing lapisan struktur bumi memiliki penyebaran gelombang S dan gelombang P yang berbeda baik secara karakteristik maupun arah. Perbedaan persebaran tersebut bergantung pada ketebalan dan densitas masing-masing lapisan pada struktur bumi tersebut. Pada daerah dengan karakteristik laut dengan daerah pesisir ataupun darat akan memiliki karakter yang berbeda.

## **2.3 Sesar**

Gempa bumi umumnya terjadi pada daerah sekitar lempeng yang saling berinteraksi antar lempengan. Sesar adalah zona atau

struktur rekahan yang mengalami pergeseran baik secara mendatar, miring, naik, atau turun yang kedudukannya dinyatakan dalam jurus dan kemiringan. Jenis sesar berdasarkan parameter *strike*, *dip* dan *rake* yaitu, sesar geser terjadi jika  $\delta=90^\circ$  dan  $\lambda=0^\circ$  yaitu geser ke kiri, dan  $\lambda=180^\circ$  yaitu geser ke kanan, sesar turun  $\delta \neq 0^\circ$  atau  $\delta \neq 90^\circ$  dan  $-180^\circ \leq \lambda \leq 0^\circ$  serta sesar naik jika  $\delta \neq 0^\circ$  atau  $\delta \neq 90^\circ$  dan  $0^\circ \leq \lambda \leq 180^\circ$ . Dan *strike* adalah pergerakan lempeng yang bergeser secara horisontal pada bidang lempeng *footwall* dengan arah sebesar nilai *strike* terhadap arah utara. Sedangkan nilai *dip* adalah besar sudut arah pergeseran bidang *hanging wall* terhadap garis miring. Dan nilai *rake* adalah besar sudut arah pergeseran secara vertikal pada lempeng-lempeng pertemuan. Bentuk pergerakan lempeng bumi adalah sebagai berikut:



**Gambar 2. 2 Pergerakan Lempeng Bumi.**

Berdasarkan sifat pergerakannya sesar diklasifikasikan sebagai sesar relatif semu dan sesar relatif sebenarnya. Sesar relatif semu yaitu *strike separation fault*, *dip separation fault*, dan sesar relatif sebenarnya yaitu *strike slip fault*, *dip slip fault*, *oblique slip fault*, dan sesar rotasi. Sesar seringkali disertai gejala kekar, lipatan, *drag fold*, breksiasi sesar, milonit, atau filonit. Sesar dapat dikarakterisasi melalui analisa momen tensor dan fokal mekanisme.

## 2.4 Gelombang

Gelombang adalah gerakan berulang-ulang yang merambat melalui suatu medium atau getaran yang merambat melalui medium tertentu. Gerak gelombang dipandang sebagai perpindahan momentum suatu titik dalam ruang ke titik lainnya tanpa ada perpindahan materi. Menurut arah rambatnya, gelombang dibagi menjadi 2 yaitu gelombang transversal dan gelombang longitudinal. Gelombang yang termasuk dalam gelombang transversal adalah gelombang yang memiliki arah rambat tegak lurus terhadap medium getar, yakni apabila partikel-partikel suatu medium bergetar ke atas dan ke bawah dalam arah tegak lurus terhadap gerak gelombang. Salah satu contoh gelombang transversal adalah gelombang tali, pergerakan keatas dan kebawah suatu tali akan membentuk arah gerak naik turun tegak lurus arah getar gelombang. Bentuk gelombang transversal yang arah getar vertikal dan merambat horizontal memiliki titik dengan titik tertinggi gelombang disebut puncak sedangkan titik terendah disebut lembah dan amplitude adalah ketinggian maksimum puncak atau titik terendah maksimum lembah dari posisi setimbang. Jarak dari dua titik pada fase yang sama dan berurutan pada gelombang yaitu jarak dari puncak ke puncak atau dari lembah ke lembah adalah besar panjang gelombang.

Sedangkan gelombang longitudinal memiliki arah getaran medium sejajar dengan arah rambat gelombang, yang dapat digambarkan pada getaran sebuah pegas. Secara fisis gelombang longitudinal memiliki arah getaran sejajar dengan arah rambat gelombang sebagai serangkaian rapatan dan renggangan merambat sepanjang pegas. Rapatan merupakan daerah dimana kumparan pegas saling mendekat, sedangkan regangan merupakan daerah dimana kumparan pegas saling menjauhi. Rapatan dan regangan pada gelombang longitudinal ini adalah seperti pola puncak dan lembah pada gelombang transversal. Panjang gelombang adalah jarak antara rapatan atau regangan yang berurutan, yaitu jarak dua titik yang sama dan berurutan pada rapatan atau regangan. Salah satu contoh gelombang longitudinal adalah gelombang bunyi, gelombang bunyi ini

analog dengan pulsa longitudinal dalam suatu pegas vertikal di bawah tegangan dibuat berosilasi ke atas dan ke sebuah ujung, maka sebuah gelombang longitudinal berjalan sepanjang pegas tersebut ; koil – koil tersebut bergetar bolak–balik di dalam arah dalam gangguan berjalan sepanjang pegas.

### **Gelombang Seismik**

Gelombang seismik adalah gelombang elastik yang merambat dalam bumi. Bumi sebagai medium gelombang terdiri dari beberapa lapisan batuan yang antar satu lapisan dengan lapisan lainnya mempunyai sifat fisis yang berbeda. Ketidak-kontinuan sifat medium ini menyebabkan gelombang seismik yang merambatkan sebagian energinya dan akan dipantulkan serta sebagian energi lainnya akan diteruskan ke medium bawahnya(Telford dkk, 1976). Gelombang seismik merupakan gelombang yang menjalar di dalam bumi disebabkan adanya deformasi struktur, tekanan ataupun tarikan karena sifat keelastisan kerak bumi. Gelombang ini membawa energi kemudian menjalarkan ke segala arah di seluruh bagian bumi dan mampu dicatat oleh seismograf(Siswowidjoyo, 1996).

Gelombang seismik ada yang merambat melalui interior bumi disebut sebagai *body wave* / gelombang P, dan ada juga yang merambat melalui permukaan bumi yang disebut *surface wave* / gelombang S. Sumber gelombang seismik ada dua yaitu alami dan buatan. Sumber alami terjadi karena adanya gempa tektonik, gempa vulkanik dan runtuh/ longsoran, sedangkan buatan menggunakan gangguan yang disengaja.

### **Gelombang Badan/Body Wave**

Gelombang badan adalah gelombang yang menjalar dalam media elastik dan arah perambatannya keseluruhan bagian di dalam bumi. Berdasarkan gerak partikel pada media dan arah penjalarannya gelombang dapat dibedakan menjadi gelombang P dan gelombang S. Gelombang P disebut dengan gelombang kompresi/gelombang longitudinal. Gelombang ini memiliki kecepatan rambat paling besar dibandingkan dengan gelombang seismik yang lain, dapat merambat melalui medium padat, cair

dan gas. Persamaan dari kecepatan gelombang P adalah sebagai berikut:

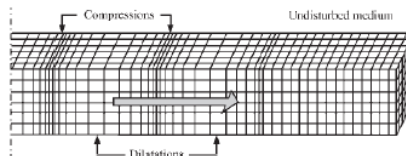
$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$$

Keterangan :

= konstanta lame

= rigiditas

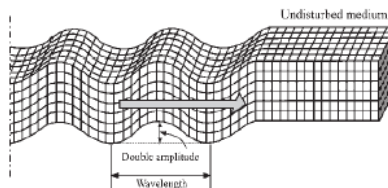
= densitas



**Gambar 2. 3 Gelombang *body*. (Elnashai and Sarno, 2008)**

Gelombang S disebut juga gelombang *shear*/ gelombang transversal. Gelombang ini memiliki cepat rambat yang lebih lambat bila dibandingkan dengan gelombang P dan hanya dapat merambat pada medium padat saja. Gelombang S tegak lurus terhadap arah rambatnya. Persamaan dari kecepatan Gelombang S adalah sebagai berikut:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$



**Gambar 2. 4 Gelombang *shear*. (Elnashai and Sarno, 2008)**

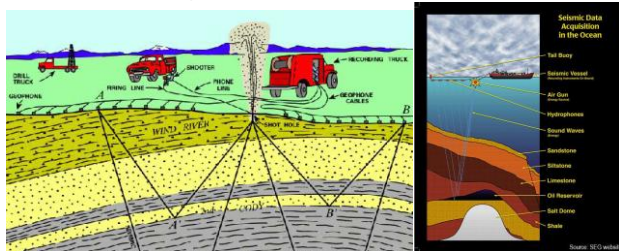
### **Gelombang Permukaan**

Gelombang permukaan merupakan salah satu gelombang seismik selain gelombang badan. Gelombang ini ada pada batas permukaan medium. Berdasarkan pada sifat gerakan partikel media elastik, gelombang permukaan merupakan gelombang yang

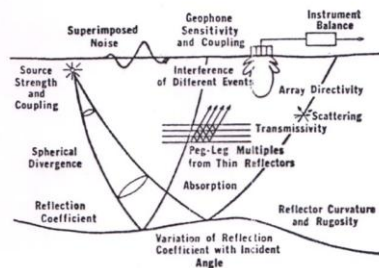


kompleks dengan frekuensi yang rendah dan amplitudo yang besar, yang menjalar akibat adanya efek *free surface* dimana terdapat perbedaan sifat elastik (Susilawati, 2008).

## Penjalaran Gelombang Seismik



### FACTORS WHICH AFFECT AMPLITUDE



Robert E. Sheriff, 1978

Gambar 2. 5 Penjalaran gelombang seismik.

## 2.5 Momen Tensor

Gempa bumi disebabkan oleh adanya gerakan sesar di bawah permukaan bumi dengan karakteristik tertentu. Mengetahui gerak sesar dan karakter sesar penyebab gempa, dapat di analisa berdasarkan momen tensor gempa bumi yang dapat menggambarkan arah gaya penyebab gempa bumi. Istilah momen tensor pertama kali dicetuskan oleh Gilbert (1970) yang dikaitkan dengan penurunan *Stress*  $\Delta\sigma$ , ( $\Delta\sigma = \sigma_0 - \sigma_f$ ) yang terletak di sumber gempa. Menurut Bachus and Mulcahy (1976), momen tensor menyatakan bagian dari perubahan *stress* internal yang

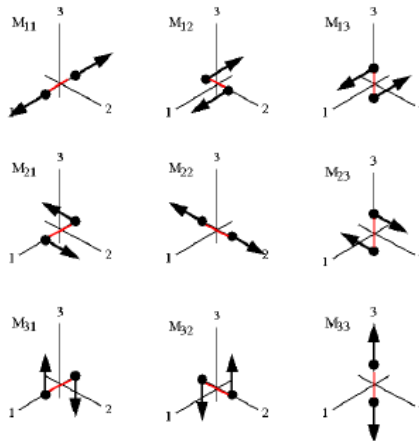
menyebabkan deformasi non-elastik pada sumber, yaitu proses patahan (*Fracture Process*). Sumber yang non-elastik oleh *stress* internal dapat dinyatakan dalam bentuk momen tensor seismic. Momen tensor seismic dapat menyatakan sebuah sumber titik atau sumber luas yang diekspresikan sebagai integral volume sumber tertentu atau permukaan sumber dari sebuah densitas volume momen tensor atau densitas permukaan (Udias et al., 2014):

$$M_{ij} = \int_{V_0} m_{ij} dV = \int_{\Sigma} m'_{ij} dS.$$

Momen tensor seismic selalu bersifat simetris. Momen tensor dapat dideskripsikan sebagai pasangan ganda (*Double Couple*) yang memiliki solusi sembilan komponen momen tensor. Momen tensor menggambarkan kekuatan dari kopel gaya gempa dalam bentuk matriks 3x3 sebagai berikut:

$$M_{ij} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{xx} & M_{xy} & M_{xz} \\ M_{xy} & M_{yy} & M_{yz} \\ M_{xz} & M_{yz} & M_{zz} \end{bmatrix}$$

Elemen diagonal pada matriks di atas menyatakan dipol vektor linier, sedangkan elemen luar diagonal menyatakan pasangan gaya berlawanan (momen). Kesembilan komponen momen tensor tersebut dinyatakan dalam gambar sebagai berikut:

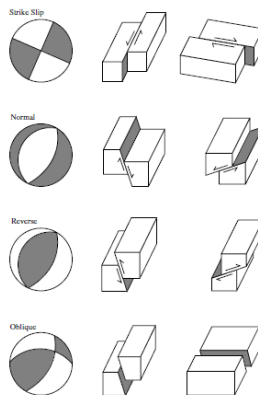


**Gambar 2. 6 Sistem pasangan komponen momen tensor dalam koordinat kartesian.**

Momen magnitudo yang pernah dilakukan oleh Mega (2009) adalah menggunakan sinyal gelombang *P broadband*.

## 2.6 Fokal Mekanisme

Fokal mekanisme merupakan penggambaran gerakan lempeng bumi dalam bentuk diagram bola atau *beachball*. Penggambaran ini didasarkan pada pergerakan arah lempeng secara horizontal atau vertikal maupun keduanya. Secara singkat dijelaskan melalui gambar 2.7 yaitu hubungan *beachball* dengan pergerakan lempeng baik saling mendekat menekan atau saling menjauhi.



**Gambar 2. 7 Focal Sphere dan Hubungannya Terhadap Sesar (Shearer, Peter M, 2009).**

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan parameter dimensi sesar adalah panjang sesar ( $L$ ), lebar sesar ( $W$ ), dan luas sesar ( $A$ ). Dengan menggunakan persamaan:

### 1. Sesar *Strike Slip*

$$\text{Log } L = 0.59 M_w - 2.30$$

$$\text{Log } A = 0.82 M_w - 2.79$$

$$\text{Log } W = 0.23 M_w - 0.49$$

### 2. Sesar *Dip Slip* di Kontinental

$$\text{Log } L = 0.50 M_w - 1.86$$

$$\text{Log } A = 0.78 M_w - 2.56$$

$$\text{Log } W = 0.28 M_w - 0.70$$

3. Sesar *Dip Slip* di zona subduksi

$$\text{Log } L = 0.55 M_w - 2.19$$

$$\text{Log } A = 0.86 M_w - 2.82$$

$$\text{Log } W = 0.31 M_w - 0.63$$

Sedangkan perhitungan pergeseran/*slip* gempa dilakukan berdasarkan momen seismik gempa menggunakan persamaan Madlazim (2011).

$$M_o = \mu \cdot A \cdot D$$

sehingga

$$D = \frac{M_o}{\mu \cdot A}$$

dengan  $M_o$  adalah momen seismik hasil inversi, dan  $\mu$  adalah koefisien rigiditas yang didapat dari model kecepatan bumi lokasi penelitian (Abaz, Zumrotus S., 2016).

## 2.7 ISOLA GUI

Program ISOLA-GUI merupakan program yang menggunakan *tool* Matlab yang digunakan untuk mempermudah perhitungan beberapa parameter dengan cepat, diantaranya persiapan data, perhitungan Fungsi *Green* dan proses inversi serta hasil dalam bentuk gambar grafis dari *focal mechanism*. Program ISOLA berdasarkan pada representasi *single point - source* dan metode iterasi dekonvolusi seperti yang digunakan oleh Kikuchi dan Kanamori (1991) untuk data gempa teleseismik. Dan untuk menghitung Fungsi *Green* menggunakan metode *discrete wavenumber* oleh Bouchon (2003). Metode ini baik digunakan untuk gempa lokal dan regional. Inversi yang digunakan dalam program ini adalah inversi linier dengan  $d$  merupakan data dan  $m$  adalah parameter yang dicari.

$$d = G m$$

yang dapat diselesaikan dengan metode *least-square*

$$m = [G^T G]^{-1} G^T d$$

ISOLA-GUI digunakan untuk menjelaskan *focal mechanism* dari momen tensor gempa. Dari proses inversi dapat diketahui

besar nilai eigen dan vektor eigennya. vektor eigen memberikan nilai *strike*, *dip*, dan *rake (slip)*. Nilai eigen memberikan besar momen skalar  $M_0$ . Untuk mendapatkan hasil yang bagus, maka dilakukan *fitting* kurva *displacement* untuk data sintetik dengan data lapangan. Dimisalkan,  $d$  adalah data lapangan dan  $s$  adalah data sintetik. Kecocokan (*fit*) diantara kedua data diukur dengan *variance reduction (varred)* dengan persamaan,

$$varred = 1 - \frac{\|d-s\|^2}{d^2} \dots\dots\dots (2.12)$$

Nilai 1 menunjukkan kurva data sintetik berimpit dengan kurva data observasi, apa bila kurang dari satu, maka terjadi perbedaan pada kurvanya sehingga akan menghasilkan ketidakcocokan perhitungan antara besar *even* yang ada dengan hasil pengolahan. Ketidakcocokan ini dipengaruhi oleh penentuan jumlah *subeven* yang akan menghasilkan residual data yang berpengaruh pada nilai *varred* (Sokos dan Zahrandik, 2008). Selain, jumlah *subeven*, proses *filtering* berpengaruh pada perioda yang akan digunakan oleh program ISOLA-GUI dari data seismogram dalam proses perhitungan inversi.

Proses pada pengolahan data dalam *software* diantaranya dilakukan *seismic source definition* yaitu proses pengasumsian bahwa hanya terdapat satu sumber lokasi *event* gempa pada kedalaman tertentu pada hiposenter. Dilakukan dengan memasukkan nilai *Starting Depth*, *Depth Step*, dan *No. of Sources*, hal ini dilakukan untuk mencari sumber yang optimum dan sesuai dengan data *real waveform* dan sintetik dalam perkiraan *centroid*. Proses selanjutnya adalah komputasi fungsi *Green* yaitu proses inversi dengan fungsi *Green* melalui *command window*. Inversi dilakukan untuk mendapatkan hasil kurva *displacement* data *waveform* dengan data sintetik dan menghasilkan nilai momen tensor berdasarkan analisis *waveform*. Hasil dari tahap ini adalah nilai variasi reduksi yang digunakan sebagai acuan dalam keakuratan hasil pengolahan data. Hasil bagus pada *fitting* kurva didapatkan dengan melakukan pengulangan penentuan nilai *filter* hingga nilai *varred* mendekati 1.

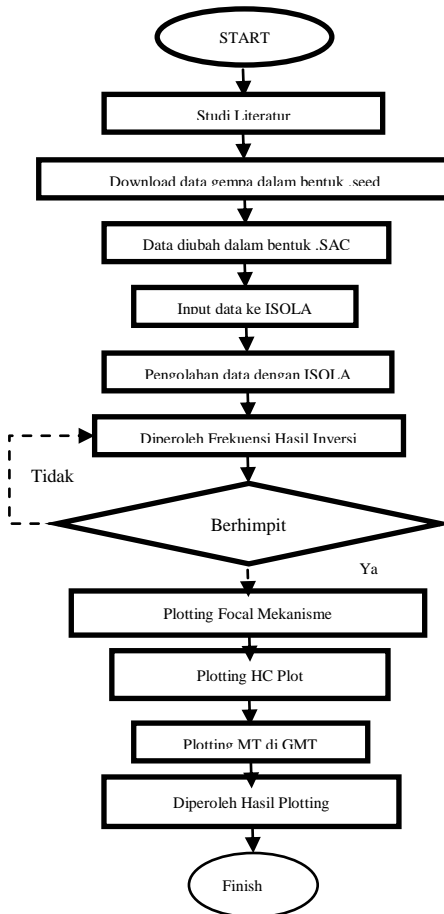


*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Tahap-Tahap Penelitian

Adapun untuk pelaksanaan penelitian ini sesuai dengan diagram alir yang ada seperti berikut:



**Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian**



Pada masing-masing tahapan pada diagram alir tersebut dijelaskan sebagai berikut:

### 3.2 Studi Literatur

Pada tahapan studi literatur ini mengenai gempa dan kaitannya dalam energi, momen tensor, fokal mekanisme dan bidang sesar akibat gempa. Tahap ini bertujuan untuk mempelajari tinjauan pustaka sebagai landasan dalam melakukan pengukuran, analisa data dan pembahasan pada penelitian tugas akhir ini. Literatur yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah artikel, buku ilmiah, internet dan berbagai jurnal, baik internasional maupun nasional.

### 3.3 Data Penelitian

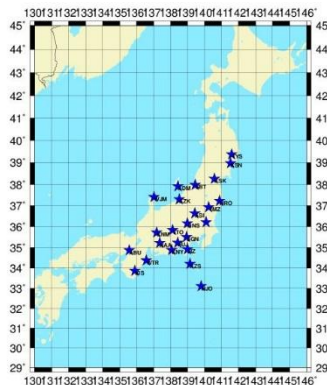
Data pada penelitian ini berasal dari *website* NIED (*National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention*) [www.fnet.bosai.go.jp](http://www.fnet.bosai.go.jp) yang berpusat di Jepang. *Event* gempa yang digunakan sebanyak 30 *event* yang terjadi selama periode tahun 2011 hingga tahun 2016 dengan magnitudo lebih besar sama dengan 4.8 SR hingga 6.7 SR. Data yang diunduh tersebut berupa format *.seed* berupa *Broadband High gain* 3 komponen seismometer, untuk dapat diolah pada program ISOLA-GUI, perlu dirubah menjadi format *.SAC* menggunakan program *Jrdseed* untuk *OS windows*. Konversi dilakukan agar *waveform* gempa terbaca 2 komponen yaitu horizontal berupa posisi N dan E, dan vertikal berupa kedalaman Z. Berdasarkan model kecepatan bumi dan sensitivitas seismometer didapat aliran energi gempa pada bawah permukaan bumi.

### 3.4 Pengolahan Data dan Konversi Data

Pada penelitian tugas akhir ini, pengolahan data yang dilakukan yaitu mengenai pengolahan *waveform* sinyal gempa. Setelah dilakukan konversi data, selanjutnya dilakukan pengolahan data pada program ISOLA-GUI dalam MATLAB. Langkah awal adalah dengan membuat *Pole Zero File* yaitu data sensitivitas seismometer dan model kecepatan bumi yang berisi data kecepatan gelombang p, kecepatan gelombang s, densitas

lapisan batuan, Qp, dan Qs terhadap kedalaman berupa struktur kecepatan horisontal multi-layer. Selanjutnya dilakukan *input* informasi *event* gempa dengan parameter berupa *Origin Time*, Magnitudo, Lintang, Bujur, serta kedalaman dalam program ISOLA-GUI. Informasi *event* gempa ini digunakan dalam pemilihan stasiun gempa yang akan digunakan dalam penelitian.

Selanjutnya dilakukan tahap *import* data SAC berisi data waveform tiga komponen dengan jumlah stasiun berkisar diantara 8 hingga 12 stasiun. Kesemua stasiun berada disekitar gempa yaitu pada keempat arah angin sehingga terekaam kompresi dan dilatasi episenter gempa. Hasil yang didapatkan berupa hasil momen tensor dengan kondisi sebenarnya. Data stasiun 3 komponen disimpan dalam bentuk data ASCII untuk kemudian dikoreksi *Seismogram*. Proses pengkoreksian *seismogram* dilakukan melalui *instrumental correction* dan *origin align* atau penyetaraan waktu awal data gempa.



**Gambar 3. 2 Lokasi Stasiun Perekam Gempa Boso Jepang**

Stasiun yang digunakan dalam penelitian ini digunakan berbeda-beda pada masing-masing *event*. Pada setiap *event* dilakukan pemilihan stasiun berdasarkan stasiun yang terdekat dengan lokasi *event*. Lokasi ini dilakukan menggunakan program *Epidist*. Pemilihan stasiun yang digunakan dalam setiap *event* berbeda satu sama lain namun dipilih secara bebas dengan total stasiun melebihi 8 stasiun.

Penggunaan stasiun dilakukan untuk mendapatkan *varred* yang diharapkan dalam pengolahan mendekati 1, sehingga didapatkan plotting obeservasi dengan sintetik berhimpit dan kedalaman *centroid* yang didasarkan pada regresi linier hasil *plotting beachball* pada momen tensor semakin akurat. Hasil *plot* yang didapatkan melalui pengolahan program ISOLA-GUI berupa kurva *displacement waveform* dan sintetik serta solusi momen tensor termasuk mekanisme fokal melalui perolehan bentuk *beachball*. Mekanisme fokal menggambarkan arah gerak patahan yang terjadi pada gempa di wilayah Boso Peninsula, Jepang. Solusi momen tensor adalah penggambaran bidang patahan dan *auxiliary plane event* gempa menggunakan program *HCplot*.

### 3.5 Perhitungan Data

Hasil inversi tensor yang telah didapatkan digunakan untuk melakukan perhitungan panjang, lebar, luas sesar dan besar pergeseran atau *displacement/slip* gempa. Perhitungan dimensi sesar dilakukan melalui perolehan *beachball* hasil inversi pengolahan data. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan sedangkan perhitungan pergeseran/*slip* gempa dilakukan berdasarkan persamaan 2.12.

### 3.6 Analisa dan Pembahasan

Analisa dalam tugas akhir ini dilakukan menggunakan program ISOLA-GUI yaitu momen tensor dan fokal mekanisme gempa dalam bentuk *beachball*. Bentuk *beachball* menunjukkan bentuk sesar penyebab terjadinya gempa. Bentuk *beachball* ini dipengaruhi oleh geologi regional Boso Peninsula, Jepang dan hiposenternya. Analisa juga dilakukan menggunakan program GMT (*Generic Mapping Tools*) untuk memetakan lokasi hiposenter setiap *event* dalam bentuk *beachball*-nya.

Pembahasan dalam tugas akhir ini adalah mengenai hubungan antar *beachball* dan penggambaran bentuk sesar wilayah Boso Peninsula, Jepang. Selain itu juga dibahas mengenai besar pergeseran berdasarkan perhitungan selama 5 tahun.

### **3.7 Kesimpulan**

Dari hasil analisa momen tensor dan fokal mekanisme gempa akan disimpulkan mengenai pola bidang sesar yang terjadi dan besar *slip* sesar gempa di wilayah Boso Peninsula, Jepang pada selama 5 tahun terakhir, yaitu 1 Januari 2011 hingga 23 September 2016.

*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan proses analisa data dan hasil penelitian gempa bumi dengan metode mekanisme fokus yang terjadi di wilayah Boso Peninsula, Jepang dengan kekuatan gempa  $\geq 4.8$  SR hingga  $\leq 6.7$  SR.

### 4.1. Analisa Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *event* yang terjadi 5 tahun terakhir yaitu sejak 26 Januari 2011 hingga 23 September 2016 pada masing-masing region sebagaimana berikut:

**Tabel 4. 1 Event pada Region FAR SE OFF BOSO PENINSULA**

No	Event	Waktu	Lat	Long	Mw	Depth
1	20160923	00143135	34.3963	141.8438	6.7	31.81
2	20160902	13293383	34.3315	141.7968	5.3	27.21
3	20150314	15361032	34.2863	141.5855	5.3	32.31
4	20111116	00435389	34.1590	141.5950	5.3	11.14

**Tabel 4. 2 Event pada Region FAR S OFF BOSO PENINSULA**

No	Event	Waktu	Lat	Long	Mw	Depth
1	20140616	17422322	34.0002	139.8188	5.3	120.75
2	20140210	19143855	34.1947	140.1647	5.3	90.71
3	20130528	19242453	34.1818	140.8122	5.0	39.70
4	20110419	23070224	34.1205	140.2482	5.0	84.26
5	20110225	19122949	34.4350	140.3737	5.0	56.33

**Tabel 4. 3 Event pada Region KUJUKURI**

No	Event	Waktu	Lat	Long	Mw	Depth
1	20160719	03575030	34.4152	140.3528	5.2	32.77
2	20140102	13110406	35.3510	140.5685	5.0	26.43
3	20111202	20552900	35.3523	140.3223	5.2	22.02

**Tabel 4. 4 Event pada Region EAST OFF BOSO PENINSULA**

No	Event	Waktu	Lat	Long	Mw	Depth
1	20130219	12273526	35.3458	141.1988	5.6	37.21
2	20121116	08255387	35.3570	141.22970	5.5	30.24
3	20120302	10114075	35.2428	141.3667	5.2	34.10
4	20120229	14332460	35.3363	141.2798	5.9	39.29

5	20110725	11544895	35.2448	141.2320	5.7	36.96
6	20110616	19001327	35.4180	141.2865	4.9	31.46
7	20110424	21063437	35.2255	141.2443	5.1	39.63
8	20110327	10231976	35.3142	141.1640	5.0	31.37
9	20110322	23465058	35.2587	141.2282	5.0	38.47
10	20110322	17495211	35.3285	141.1355	5.0	23.01
11	20110322	03383492	35.2687	141.2283	5.9	36.97
12	20110320	14485041	35.4287	141.2685	5.2	35.89
13	20110320	10355258	35.2412	141.3028	4.9	27.34
14	20110315	20300029	35.2847	141.2240	5.9	24.16
15	20110313	17552450	35.2478	141.2312	5.7	16.22
16	20110313	17013099	35.2582	141.3023	5.1	23.23
17	20110313	04361148	35.2295	141.4410	4.9	27.00
18	20110312	03344398	35.2243	141.2155	5.5	40.75
19	20110125	05243924	35.1842	141.4078	5.3	39.13

Sedangkan data stasiun yang digunakan dalam penelitian ini secara keseluruhan ditunjukkan pada table 4.5 berikut:

**Tabel 4. 5 Koordinat Stasiun Gempa Boso Peninsula, Jepang**

No	Stasiun	Lat	Long
1	ABU	34.86349869	135.5706024
2	AOG	32.45080185	139.7740021
3	ASI	36.63420105	139.4205933
4	ADM	37.90459824	138.4302979
5	FUJ	35.23070145	138.4181061
6	ISI	34.06060028	134.4553986
7	HJO	33.10480118	139.8023987
8	HRO	37.22460175	140.8777008
9	JIZ	34.91669846	138.9938049
10	KNY	34.87379837	138.0628052
11	KIS	33.86520004	135.8907013
12	KNM	35.71680069	137.1781006
13	KSK	38.25849915	140.5832977
14	KSN	38.97620010	141.5301056
15	KZK	37.29769897	138.5142975
16	KZS	34.20560074	139.1484985
17	NAA	35.22389984	137.3621979
18	ONS	36.15570068	138.9821930

19	SBT	37.96829987	139.4501038
20	SGN	35.50960159	138.9443970
21	TSK	36.21409988	140.0897980
22	TTO	35.83629990	138.1208954
23	TYS	39.37720108	141.5932007
24	WTR	34.37390137	136.5747986
25	WJM	37.40209961	137.0256958
26	YMZ	36.92670059	140.2445068

Stasiun yang digunakan pada penelitian ini masing-masing *event* berbeda satu sama lain. Pada setiap *event* dilakukan pembatasan penggunaan stasiun yaitu maksimum 8 stasiun yang dipilih secara bebas oleh penulis. Hal ini dilakukan agar gambar yang dihasilkan bagian *plot* hasil pengamatan lapangan dan pengolahan yaitu observasi dan sintetik didapatkan gambaran jelas masing-masing stasiun dengan hasil *fitting*-nya. Penentuan stasiun yang digunakan berdasarkan stasiun terdekat dengan lokasi *event* berasal dari program *Epidist*. Program ini didasarkan pada kedudukan *latitude* dan *longitude* masing-masing stasiun yang terdekat dengan *latitude* dan *longitude event* gempa.

## 4.2. Hasil Pengolahan

### 4.2.1. Momen Tensor

Hasil pengolahan data yang didapatkan berdasarkan penelitian ini adalah momen skalar atau momen *seismic*, yaitu solusi yang menggambarkan besarnya energi yang dilepaskan oleh gempa bumi. Berdasarkan persamaan 3.10 besar momen *seismic* digunakan dalam perhitungan *displacement* atau pergeseran/*slip* pada setiap *event* dalam penelitian ini, yaitu besarnya sebagai berikut:

**Tabel 4. 6 Momen Tensor pada Region FAR SE OFF BOSSO PENINSULA**

<i>Event</i>	Mrr	Mtt	Mpp	Mrt	Mrp	Mtp	Exp	Varred
20160923	2.198	-0.110	-1.988	0.3	-0.475	-0.102	18	0.54
20160902	0.62	0.293	-7.655	0.04	0.555	-2.716	16	0.69
20150314	6.914	0.613	-0.397	-2.142	1.546	1.697	16	0.63
20111116	-1.022	0.531	0.442	0.268	-0.202	0.759	17	0.73



**Tabel 4. 7 Momen Tensor pada Region FAR S OFF BOSO  
PENINSULA**

<i>Event</i>	Mrr	Mtt	Mpp	Mrt	Mrp	Mtp	E	Varred
20140616	0.295	-5.011	-4.144	-1.258	-5.747	-6.179	16	0.87
20140210	-1.513	-5.628	-9.589	-7.717	-3.630	-2.131	16	0.84
20130528	-6.914	0.613	-0.397	-2.142	-1.546	1.697	16	0.63
20110419	1.118	-0.423	-1.603	-1.01	-1.121	-0.889	16	0.75
20110225	4.856	4.365	8.366	-3.499	-3.355	1.8	16	0.84

**Tabel 4. 8 Momen Tensor pada Region Kujukuri**

<i>Event</i>	Mrr	Mtt	Mpp	Mrt	Mrp	Mtp	E	Varred
20160719	-1.591	-1.017	-0.468	-0.577	0.691	2.598	16	0.92
20140102	2.596	-0.209	-0.217	1.387	1.892	-0.693	16	0.84
20111202	3.43	-1.783	0.074	3.254	1.948	-1.652	16	0.91

**Tabel 4. 9 Momen Tensor pada Region EAST OFF BOSO  
PENINSULA**

<i>Event</i>	Mrr	Mtt	Mpp	Mrt	Mrp	Mtp	E	Varred
20130219	-1.937	-4.569	5.901	8.13	3.954	8.021	16	0.70
20121116	-1.022	0.531	0.442	0.268	-0.202	0.759	17	0.73
20120302	1.597	-4.266	2.582	2.602	2.191	-2.245	16	0.67
20120229	-3.073	0.544	1.543	1.515	0.462	1.942	17	0.83
20110725	-0.07	-0.725	0.511	1.222	0.516	0.928	17	0.56
20110616	-2.119	-6.848	-1.8	7.008	-7.992	6.023	15	0.50
20110424	0.034	-0.835	1.784	2.096	1.025	2.596	16	0.67
20110327	-0.123	-2.55	2.081	1.103	0.979	1.726	16	0.83
20110322	-0.323	-3.288	1.418	0.674	0.896	1.567	16	0.82
20110322	1.749	-0.093	-0.003	1.868	0.594	-0.557	16	0.83
20110322	0.121	-2.777	1.556	1.981	0.838	2.024	17	0.69
20110320	-2.679	-2.414	3.191	4.416	0.32	-1.128	16	0.87
20110320	-2.278	-0.906	1.13	1.181	1.004	0.926	16	0.57
20110315	-0.975	-2.7	0.565	1.755	1.188	1.567	17	0.79
20110313	-0.018	-0.169	0.278	1.241	0.699	-0.061	17	0.61
20110313	-2.961	-0.797	-1.032	6.061	3.509	0.144	16	0.67
20110313	0.934	1.787	-1.392	-0.543	2.355	0.262	16	0.76
20110312	-0.952	-3.51	0.15	2.877	1.305	1.815	16	0.50
20110126	5.177	-6.194	-0.107	4.41	1.656	-0.191	16	0.57

Pada tabel-tabel diatas digunakan Mrr, Mtt, Mpp, Mrt, Mtp adalah nilai tensor hasil pengolahan setiap *event*. Nilai tersebut dipengaruhi oleh frekuensi filter yang digunakan dan kaitannya dengan besar *varred*. Pada tabel-tabel didapat besar *varred* yaitu diatas 0.5 hingga 0.92, nilai tersebut dapat dikatakan baik karena menghasilkan kurva *fitting* yang berhimpit. Nilai tersebut adalah hasil aktifitas pada area patahan atau pertemuan lempeng-lempeng yang mengalami *slip*. Hasil ini dipengaruhi oleh gaya

yang dibutuhkan untuk meneruskan gelombang seismik setelah terjadi gempa. Nilai tersebut bergantung pada total energi seismik yang disebabkan oleh pergeseran atau pergerakan lempeng. Besar masing-masing momen tensor dipengaruhi oleh frekuensi yang digunakan dalam pengolahan *waveform*, pada penelitian ini didapatkan frekuensi terbaik yaitu berada diantara 0.03 hingga 0.032 Hertz. Dan dipengaruhi juga oleh kondisi lapisan bawah permukaan lokasi gempa. Berdasarkan momen skalarnya dan jika hasil dibandingkan dengan pengamatan dari NIED, didapatkan besar selisih hasil penelitian penulis dengan referensi adalah sebagai berikut:

**Tabel 4. 10 Perbandingan Momen Skalar Penelitian dan NIED**

<i>Event</i>	Isola	NIED	$\Delta$
20160923_00143135	2.17E+18	2.36E+18	1.86E+17
20160902_13293383	6.10E+16	6.45E+16	3.49E+15
20150314_15361032	5.83E+16	7.56E+16	1.73E+16
20111116_00435389	1.24E+17	8.32E+16	4.08E+16
20140616_17422322	9.69E+16	9.57E+16	1.24E+15
20140210_19143855	1.18E+17	1.12E+17	6.40E+15
20130528_19242453	5.84E+16	6.96E+16	1.12E+16
20110419_23070224	2.25E+16	2.70E+16	4.46E+15
20110225_19122949	9.11E+16	8.10E+16	1.01E+16
20160719_03575030	2.99E+16	3.23E+16	2.41E+15
20140102_13110406	3.07E+16	2.91E+16	1.56E+15
20111202_20552900	4.96E+16	4.75E+16	2.09E+15
20130219_12273526	1.33E+17	1.31E+17	1.60E+15
20121116_08255387	1.20E+17	1.30E+17	9.60E+15
20120302_10114075	5.51E+16	7.02E+16	1.51E+16
20120229_14332460	3.51E+17	3.92E+17	4.08E+16
20110725_11544895	1.74E+17	2.15E+17	4.13E+16
20110616_19001327	1.33E+16	2.74E+16	1.41E+16
20110424_21063437	3.76E+16	3.62E+16	1.39E+15
20110327_10231976	3.25E+16	2.89E+16	3.62E+15
20110322_23465058	3.19E+16	2.52E+16	6.70E+15
20110322_17495211	2.39E+16	2.29E+16	9.50E+14
20110322_03383492	3.71E+17	3.60E+17	1.14E+16
20110320_14485041	5.70E+16	5.89E+16	1.92E+15
20110320_10355258	2.63E+16	4.04E+16	1.41E+16
20110315_20300029	3.38E+17	3.16E+17	2.15E+16
20110313_17552450	1.44E+17	2.57E+17	1.13E+17
20110313_17013099	7.37E+16	6.37E+16	9.99E+15
20110313_04361148	2.99E+16	3.08E+16	9.50E+14
20110312_03344398	4.41E+16	4.79E+16	3.80E+15

20110126_05243924	7.40E+16	7.07E+16	3.30E+15
-------------------	----------	----------	----------

Dari besar selisih antara perhitungan dengan referensi NIED didapatkan bahwa nilai selisih terbesar adalah  $9.50E+14$  dan nilai terkecil adalah  $1.86E+17$ . Hal ini disebabkan penggunaan banyak stasiun perekam data dan besar frekuensi pada pengolahan dan perhitungan dalam penelitian ini. Dilakukan rerata petahun dan rerata 5 tahun besar momen tensor pada masing-masing region, yaitu seperti tabel berikut:

**Tabel 4. 11 Besar Rerata Momen Tensor Gempa Boso Peninsula, Jepang**

Region	Mo per tahun	Mo 5 tahun
FAR SE OFF Boso Peninsula	1.12E+18	2.60E+17
	5.38E+16	
	1.24E+17	
FAR S OFF Boso Peninsula	1.08E+17	4.46E+16
	5.84E+16	
	5.68E+16	
Kujukuri	2.99E+16	2.20E+16
	3.07E+16	
	4.96E+16	
EAST OFF Boso Peninsula	1.33E+17	8.12E+16
	1.76E+17	
	9.81E+16	

#### 4.2.2. Pola Bidang Patahan dan Karakter Sesar

*Event* gempa dalam penelitian ini dibagi menjadi empat (4) berdasarkan regionnya. Penentuan jenis sesar dilakukan berdasarkan parameter *strike*, *dip* dan *rake*. Masing-masing region memiliki arah dan jenis yang berbeda bergantung pada posisi antar lempeng tempat terjadinya gempa. Berikut adalah tabel patahan setiap region dari hasil pengolahan:

**Tabel 4. 12 Patahan pada Region FAR SE OFF BOSO PENINSULA**

<i>Event</i>	Bidang 1			Bidang 2		
	<i>Strike</i>	<i>Dip</i>	<i>Rake</i>	<i>Strike</i>	<i>Dip</i>	<i>Rake</i>
20160923	175	52	80	11	39	102
20160902	242	78	173	333	83	12
20150314	121	73	65	358	30	143
20111116	225	48	135	349	58	52

**Tabel 4. 13 Patahan pada Region FAR S OFF BOSO PENINSULA**

<i>Event</i>	Bidang 1			Bidang 2		
	<i>Strike</i>	<i>Dip</i>	<i>Rake</i>	<i>Strike</i>	<i>Dip</i>	<i>Rake</i>
20140616	87	41	159	193	76	51
20140210	238	78	107	1	21	35
20130528	150	30	103	315	61	83
20110419	219	67	100	14	25	67
20110225	157	25	-162	50	82	-66

**Tabel 4. 14 Patahan pada Region KUJUKURI**

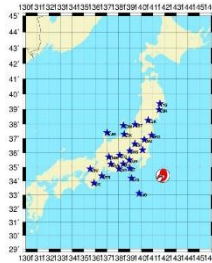
<i>Event</i>	Bidang 1			Bidang 2		
	<i>Strike</i>	<i>Dip</i>	<i>Rake</i>	<i>Strike</i>	<i>Dip</i>	<i>Rake</i>
20160719	186	71	-159	89	70	-20
20140102	229	19	100	38	72	87
20111202	240	20	91	59	70	90

**Tabel 4. 15 Patahan pada Region EAST OFF BOSO PENINSULA**

<i>Event</i>	Bidang 1			Bidang 2		
	<i>Strike</i>	<i>Dip</i>	<i>Rake</i>	<i>Strike</i>	<i>Dip</i>	<i>Rake</i>
20130219_12273526	343	46	-175	249	86	-44
20121116_08255387	246	50	-63	27	47	-119
20120302_10114075	37	81	45	298	46	167
20120229_14332460	19	37	-121	235	59	-69
20110725_11544895	341	40	179	72	89	50
20110616_19001327	149	83	114	255	25	17
20110424_21063437	345	52	-180	255	90	-38
20110327_10231976	64	85	26	332	64	174
20110322_23465058	330	70	169	64	80	21
20110322_17495211	68	75	100	214	18	57
20110322_03383492	69	85	37	335	53	174
20110320_14485041	310	68	-138	201	52	-29
20110320_10355258	357	32	-130	221	66	-68
20110315_20300029	334	48	176	66	87	42
20110313_17552450	187	4	37	60	88	93
20110313_17013099	240	85	-90	63	5	-87
20110313_04361148	218	21	148	338	79	72
20110312_03344398	335	38	171	71	85	52
20110126_05243924	76	65	79	280	27	111

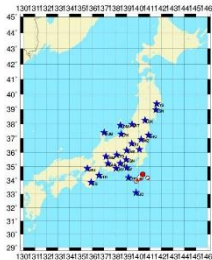
Tabel patahan pada masing-masing region tersebut digunakan untuk menggambarkan *fault-plane* melalui *HC-plot* penyebab terjadinya gempa bumi. Berdasarkan *plotting*, didapatkan jarak minimum antara hiposenter gempa dengan bidang pertama dan

kedua dijadikan acuan pemilihan bidang patahan, dan jarak *centroid* hiposenter dengan bidang patahannya serta arah patahan pada masing-masing *event* gempa. Gambar-gambar dibawah adalah posisi *beachball* bergantung besar kekuatan gempanya dimana semakin besar kekuatan maka *beachball* tergambar semakin besar. Karena letak gempa terjadi saling berdekatan maka posisi hampir saling tumpang tindih. Berikut adalah gambar *beachball* tiap region:



**Gambar 4. 1 *Beachball* Region FAR SE OFF BOSO PENINSULA**

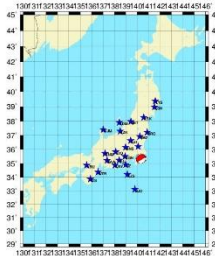
Pada region FAR SE OFF Boso Peninsula, Jepang data teramati pada tahun 2016 terjadi dua gempa dengan pola bidang jenis patahan *reverse* dan *strike-slip*, pada tahun 2015 pola bidang jenis patahan *reverse*, dan pada tahun 2011 pola bidang jenis patahan normal.



**Gambar 4. 2 *Beachball* Region FAR S OFF BOSO PENINSULA**

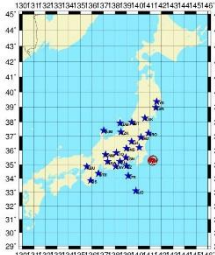
Pada Region FAR S OFF Boso Peninsula, Jepang data teramati pada tahun 2014 terjadi dua gempa dengan pola bidang jenis patahan *oblique*, pada tahun 2013 terjadi gempa dengan pola bidang jenis patahan *reverse*, dan pada tahun 2011 terjadi dua

gempa dengan pola bidang jenis patahan *reserve* berarah barat daya – timur laut.



**Gambar 4. 3 Beachball Region KUJUKURI BOSO PENINSULA**

Pada Region Kujukuri, Jepang data teramati pada tahun 2016 dan 2014 terjadi gempa dengan pola bidang jenis patahan *reserve*, dan pada tahun 2011 terjadi gempa dengan pola bidang jenis patahan *strike-slip*.



**Gambar 4. 4 Beachball Region EAST OFF BOSO PENINSULA**

Pada Region EAST OFF Boso Peninsula, Jepang data teramati pada tahun 2013 terjadi gempa dengan pola bidang jenis patahan *oblique*, pada tahun 2012 terjadi tiga gempa dengan pola bidang jenis patahan normal dan *oblique*, sedangkan pada tahun 2011 terjadi lima belas (15) gempa dengan pola bidang bervariasi, terdapat *oblique*, *slip-strike*, *reserve*, dan normal.

Didapatkan bidang patahan pada masing-masing *event* beserta dengan jarak dan arahnya adalah sebagai berikut:

**Tabel 4. 16 Jarak dan Arah Penyebab Gempa Bumi Region FAR SE OFF BOSO PENINSULA**

<i>Event</i>	Cent-Hipo	Bidang1	Bidang2	Arah Patahan
20160923	20.81	14.32	16.47	Barat Daya-Timur Laut

20160902	0.79	0.79	0.79	Barat Daya-Timur Laut
20150314	17.31	5.29	15.05	Barat Daya-Timur Laut
20111116	0.14	0.14	0.14	Barat Daya-Timur Laut

**Tabel 4. 17 Jarak dan Arah Penyebab Gempa Bumi Region FAR S  
OFF BOSO PENINSULA**

<i>Event</i>	Cent-Hipo	Bidang1	Bidang2	Arah Patahan
20140616	0.25	0.25	0.25	Tenggara-Barat Laut
20140210	2.29	2.29	2.29	Barat Daya-Timur Laut
20130528	1.7	1.7	1.7	Barat Daya-Timur Laut
20110419	0.74	0.74	0.74	Barat Daya-Timur Laut
20110225	3.67	3.67	1.46	Barat Daya-Timur Laut

**Tabel 4. 18 Jarak dan Arah Penyebab Gempa Bumi Region  
KUJUKURI**

<i>Event</i>	Cent-Hipo	Bidang1	Bidang2	Arah Patahan
20160719	0.77	0.77	0.77	Tenggara-Barat Laut
20140102	0.43	0.43	0.43	Tenggara-Barat Laut
20111202	4	1.78	1.85	Tenggara-Barat Laut

**Tabel 4. 19 Jarak dan Arah Penyebab Gempa Bumi Region EAST  
OFF BOSO PENINSULA**

<i>Event</i>	Cent-Hipo	Bidang1	Bidang2	Arah Patahan
20130219_12273526	1.79	1.28	0.25	Tenggara-Barat Laut
20121116_08255387	1.24	0.8	0.85	Barat Daya-Timur Laut
20120302_10114075	12.1	2.72	8.41	Barat Daya-Timur Laut
20120229_14332460	10.29	8.22	5.3	Tenggara-Barat Laut
20110725_11544895	0.04	0.04	0.04	Tenggara-Barat Laut
20110616_19001327	0.46	0.46	0.46	Tenggara-Barat Laut
20110424_21063437	1.63	1.04	0.37	Tenggara-Barat Laut
20110327_10231976	1.37	0.38	0.64	Barat Daya-Timur Laut
20110322_23465058	2.47	0.9	0.61	Tenggara-Barat Laut
20110322_17495211	2.01	0.52	1.95	Barat Daya-Timur Laut
20110322_03383492	0.03	0.03	0.03	Barat Daya-Timur Laut
20110320_14485041	4.89	1.89	3.01	Tenggara-Barat Laut
20110320_10355258	0.66	0.66	0.48	Tenggara-Barat Laut
20110315_20300029	1.84	1.28	0.19	Tenggara-Barat Laut
20110313_17552450	1.78	1.78	0.23	Barat -Timur
20110313_17013099	3.23	0.36	3.23	Barat Daya-Timur Laut
20110313_04361148	7	6.55	1.34	Barat Daya-Timur Laut
20110312_03344398	9.75	7.68	0.9	Tenggara-Barat Laut
20110126_05243924	17.13	9.11	15.26	Tenggara-Barat Laut

Pemilihan bidang patahan pada penelitian ini didasarkan pada jarak terendah atau terdekat antara bidang dengan hiposenter gempa. Namun untuk *event* dengan bidang patahan yang jarak

kedua bidang adalah sama, data ber-highlight abu-abu, dilakukan korelasi terhadap hasil dari sumber penelitian lain.

Pada tabel 4.16 bidang 1 adalah bidang patahan untuk 2 *event* pada tahun 2016 dan dapat disimpulkan bahwa pada region FAR SE OFF Boso Peninsula, Jepang arah patahan adalah barat daya-timur laut. Pada tabel 4.17 *event* tanggal 25022011 didapatkan bidang 2 adalah bidang patahan dengan arah patahan adalah barat daya-timur laut sehingga dapat disimpulkan region FAR S OFF Boso Peninsula, Jepang memiliki arah patahan barat daya-timur laut. Pada tabel 4.18 *event* tanggal 02122011 didapatkan bidang 1 sebagai bidang patahan dengan arah patahan adalah tenggara-barat laut, sehingga dapat disimpulkan bahwa arah patahan region Kujukuri, Jepang adalah tenggara-barat laut. Sedangkan pada tabel 4.19 *event* dengan bidang patahan bidang 1 adalah tanggal 16112012, 02032012, 22032011 pukul 17.49, 27032011 dan tanggal 13032011 berarah barat daya-timur laut, dan tanggal 20032011 pukul 14.48 dan tanggal 26012011 berarah tenggara-barat laut. Sedangkan *event* dengan bidang patahan bidang 2 adalah tanggal 29022012, 24042011, 22032011 pukul 23.46, 20032011 pukul 10.35, 15032011, dan tanggal 12032011 berarah tenggara-barat laut, dan tanggal 13032011 berarah batar-timur, serta tanggal 13032011 berarah barat daya-timur laut.

#### 4.3. Hasil Perhitungan

Subbab ini menjelaskan perhitungan besar pergeseran yang terjadi selama *event* berlangsung berdasarkan pola bidang patahan yang didapatkan yang ditunjukkan dengan tabel berikut:

**Tabel 4. 20 Hasil Perhitungan *Displacement* Region FAR SE OFF Boso Peninsula Jepang**

<i>Event</i>	Mw	Depth	L	W	A	D
20160923	6.2	11	30.903	14.997	463.45	1.14E+14
20160902	6.2	28	22.80342	8.629785	196.7886	7.55E+12
20150314	5.1	15	6.166	6.0814	37.497	3.79E+13
20111116	5.1	11	6.166	6.0814	37.497	1.09E+14

Berdasarkan tabel diatas didapatkan besar pergeseran adalah dalam satuan kilometer, dapat dilakukan konversi kedalam satuan



sentimeter yaitu rata-rata sebesar 7.7 sentimeter sepanjang tahun 2016, 3.8 sentimeter sepanjang tahun 2015, dan 10.9 sentimeter sepanjang tahun 2011. Sehingga didapatkan besar rata-rata pergeseran pada region FAR SE OFF Boso Peninsula selama 5 tahun terakhir adalah sebesar 6 sentimeter per tahun.

**Tabel 4. 21 Hasil Perhitungan *Displacement* Region FAR S OFF Boso Peninsula Jepang**

<i>Event</i>	Mw	Depth	L	W	A	D
20140616	5.3	121	6.166	6.0814	37.497	3.75E+13
20140210	5.3	93	6.166	6.0814	37.497	4.96E+13
20130528	5.1	38	4.3652	5.0119	21.878	4.19E+13
20110419	4.8	85	4.3652	5.0119	21.878	1.62E+13
20110225	5.2	60	4.3652	5.0119	21.878	6.54E+13

Berdasarkan tabel diatas didapatkan besar pergeseran adalah dalam satuan kilometer, dapat dilakukan konversi kedalam satuan sentimeter yaitu rata-rata sebesar 4.35 sentimeter sepanjang tahun 2014, 4.19 sentimeter sepanjang tahun 2013, dan 4.08 sentimeter sepanjang tahun 2011. Sehingga didapatkan besar rata-rata pergeseran pada region FAR S OFF Boso Peninsula selama 5 tahun terakhir adalah sebesar 4.21 sentimeter per tahun.

**Tabel 4. 22 Hasil Perhitungan *Displacement* Region Kujukuri**

<i>Event</i>	Mw	Depth	L	W	A	D
20160719	4.9	32	5.4954	5.7016	31.333	2.32E+13
20140102	4.9	26	4.3652	5.0119	21.878	3.41E+13
20111202	5.1	18	5.4954	5.7016	31.333	3.85E+13

Berdasarkan tabel diatas didapatkan besar pergeseran adalah dalam satuan kilometer, dapat dilakukan konversi kedalam satuan sentimeter yaitu rata-rata sebesar 2.3 sentimeter sepanjang tahun 2016, 3.4 sentimeter sepanjang tahun 2014, dan 3.8 sentimeter sepanjang tahun 2011. Sehingga didapatkan besar rata-rata pergeseran pada region Kujukuri selama 5 tahun terakhir adalah sebesar 1.91 sentimeter per tahun.

**Tabel 4. 23 Hasil Perhitungan *Displacement* Region EAST OFF Boso Peninsula Jepang**

<i>Event</i>	Mw	Depth	L	W	A	D
20130219_12273526	5.3	39	8.71	7.38	64.3	3.24E+13
20121116_08255387	5.3	29	7.762	6.918	53.7	5.46E+13
20120302_10114075	5.1	22	4.898	5.346	26.1	63.65312

20120229_14332460	5.6	29	8.710	7.379	64.2	63.65312
20110725_11544895	5.4	37	9.772	7.87	76.9	3.55E+13
20110616_19001327	4.7	31	3.89	4.699	18.3	1.77E+13
20110424_21063437	5.0	38	5.117	4.819	24.7	2.39E+13
20110327_10231976	4.9	30	4.365	5.012	21.9	3.62E+13
20110322_23465058	4.9	36	4.467	4.571	20.4	2.45E+13
20110322_17495211	4.9	21	4.365	5.012	21.9	2.65E+13
20110322_03383492	5.6	37	12.3	8.954	110	5.3E+13
20110320_14485041	5.1	31	5.861	5.082	29.8	3.01E+13
20110320_10355258	4.9	28	3.89	4.699	18.3	3.5E+13
20110315_20300029	5.6	26	15.17	7.362	112	7.36E+13
20110313_17552450	5.4	18	9.772	7.87	76.9	6.21E+13
20110313_17013099	5.2	20	4.898	5.346	26.2	6.85E+13
20110313_04361148	4.9	20	3.89	4.699	18.3	3.98E+13
20110312_03344398	5.0	31	8.81	5.957	52.5	1.32E+13
20110126_05243924	5.2	22	6.166	6.081	37.5	3.1E+13

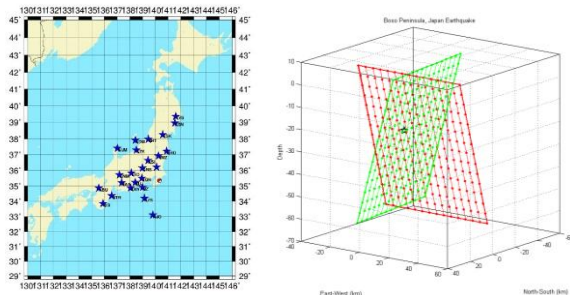
Berdasarkan tabel diatas didapatkan besar pergeseran adalah dalam satuan kilometer, dapat dilakukan konversi kedalam satuan sentimeter yaitu rata-rata sebesar 3.24 sentimeter sepanjang tahun 2013, 4.4 sentimeter sepanjang tahun 2012, dan 3.8 sentimeter sepanjang tahun 2011. Sehingga didapatkan besar rata-rata pergeseran pada region EAST OFF Boso Peninsula selama 5 tahun terakhir adalah sebesar 1.47 sentimeter per tahun.

#### 4.4. Pembahasan

Subbab ini menjelaskan analisa dampak yang terjadi setelah gempa pada setiap region. Berdasarkan pengolahan yang telah dilakukan didapatkan *beachball* menggambarkan jenis patahan, *plotting HC-plot* menggambarkan arah patahan, dan perhitungan pergeseran patahan. Masing-masing jenis dan arah patahan memiliki pengaruh yang berbeda terhadap permukaan lokasi penelitian bergantung pada kedalaman *event* gempa yang terjadi.

Pada *event* tanggal 02122011 pukul 20.55 misalnya, didapatkan *varred* sebesar 0.91 dengan *beachball* menunjukkan jenis sesar *reserve* dengan jarak hiposenter dengan *centorid* adalah sebesar 4 km dengan jarak hiposenter dengan bidang pertama sebesar 1.78 km dan jarak dengan bidang kedua sebesar 1.85 km yang ditunjukkan oleh Gambar 4.5. Pola *beachball* yang didapat menggambarkan pergerakan lempeng melalui fokal

mekanisme berupa sesar naik dengan arah gaya penyebab gempa bumi yang berasal dari analisa momen tensor yaitu komponen bidang dan arah patahan digambarkan melalui warna merah dan putih. Dan dari penggambaran pada *HC-plot* didapatkan bidang patahan adalah bidang pertama karna memiliki jarak terdekat dengan hiposenter, yang digambarkan dengan bidang berwarna merah sedangkan bidang warna hijau adalah bidang bantuan. Bidang patahan menggambarkan arah patahan *event* ini yaitu tenggara-barat laut dan berdasarkan perhitungan dengan persamaan hubungan antara momen skalar, Modulus Geser ( $\mu$ ), dan luas bidang sesar ( $A$ ) (Garini and Madlazim, 2014), didapatkan pada *event* ini besar pergeseran adalah sebesar 4.6 cm. Demikian dilakukan pada *event* yang lain seperti pada hasil yang telah didapatkan pada subbab sebelumnya.



**Gambar 4. 5 Beachball dan Bidang Patahan *Event* Tanggal 02122011 Pukul 20.55**

Hasil yang didapat seperti yang dijelaskan diatas disebabkan oleh penggunaan filter dalam penelitian yaitu filter *bandpass* sebesar  $f1=0.03$ ,  $f2=0.032$ ,  $f3=0.034$ , dan  $f4=0.035$  Hertz. Sedangkan filter yang digunakan pada NIED atau sumber adalah sebesar  $f1=0.005$ ,  $f2=0.01$ ,  $f3=0.05$ , dan  $f4=0.55$  Hertz. Berdasarkan filter ini didapat bahwa frekuensi terbaik berada pada frekuensi 0.03 hingga 0.032 Hertz. Penggunaan filter *bandpass* ini selain mempengaruhi besar *verred* juga mempengaruhi besar total momen tensor yang dihasilkan. Frekuensi terbaik diatas memiliki *verred* terbaik dibanding dengan sumber yang besar *verred*nya diantara  $-3.1E-04$  hingga

6.3E-03 dan besar total momen tensor yang tidak nol dibanding hasil dari filter sumber. Berdasarkan pengulangan pengolahan pada frekuensi seperti pada sumber yaitu dari NIED dapat diketahui bahwa frekuensi gempa yang tercatat pada seismogram terbaik diolah dalam frekuensi penelitian.

Region Kujukuri, didapati besar rerata *varred* adalah 0.89 sehingga dapat dikatakan akurat. Secara berurutan adalah *event* pertama memiliki pola *beachball reverse* dengan arah bidang patahan timur laut-barat daya dengan besar *displacement* sebesar 3.98 cm. Kedua memiliki pola *beachball oblique* dengan arah bidang patahan timur laut-barat daya dengan besar *displacement* sebesar 4.6 cm.

Sedangkan pada region FAR S OFF Boso Peninsula besar rerata *varred* adalah 0.785 dapat dikatakan akurat. Secara berurutan adalah *event* pertama memiliki pola *beachball oblique* dengan arah bidang patahan timur laut-barat daya dengan besar *displacement* sebesar 3.75 cm. Kedua memiliki pola *beachball oblique* dengan arah bidang patahan timur laut-barat daya dengan besar *displacement* sebesar 4.6 cm.

Pada region EAST OFF Boso Peninsula didapati besar rerata *varred* adalah 0.663 masih dalam batas akurasi. Secara berurutan adalah *event* pertama memiliki pola *beachball oblique* dengan arah bidang patahan timur laut-barat daya dengan besar *displacement* sebesar 4.33 cm. Kedua memiliki pola *beachball strike-slip* dengan arah bidang patahan timur laut-barat daya dengan besar *displacement* sebesar 2.9 cm. Ketiga memiliki pola *beachball oblique* dengan arah bidang patahan timur laut-barat daya dengan besar *displacement* sebesar 3.18 cm. Keempat memiliki pola *beachball strike-slip* dengan arah bidang patahan timur laut-barat daya dengan besar *displacement* sebesar 9 cm. Dan terakhir memiliki pola *beachball strike-slip* dengan arah bidang patahan timur laut-barat daya dengan besar *displacement* sebesar 3.6 cm.

Sedangkan pada region FAR SE OFF Boso Peninsula didapati besar rerata *varred* adalah 0.658. Secara berurutan adalah *event*

pertama memiliki pola *beachball oblique* dengan arah bidang patahan timur laut-barat daya dengan besar *displacement* sebesar 0.75 cm. Kedua memiliki pola *beachball oblique* dengan arah bidang patahan timur laut-barat daya dengan besar *displacement* sebesar 5.4 cm. Ketiga memiliki pola *beachball strike-slip* dengan arah bidang patahan timur laut-barat daya dengan besar *displacement* sebesar 15.6 cm.

Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa karakteristik sesar di wilayah Boso Peninsula, Jepang selama 5 tahun terakhir pada region Kujukuri berjenis sesar *reserve* atau naik pada tahun 2014 hingga 2016 dan sesar *oblique* pada tahun 2011, FARSE OFF berjenis sesar *oblique* pada tahun 2011 dan 2014, dan berjenis *reverse* pada tahun 2013 dan 2014, EAST OFF bervariasi jenis sesar yaitu *oblique*, *reserve*, *strike-slip*, dan normal pada tahun 2011, *oblique* dan *strike-slip* pada tahun 2012, dan *normal* pada tahun 2013. Dan FARSE OFF bervariasi jenis sesar yaitu *oblique* pada tahun 2011, *reserve* pada tahun 2015, dan *strike-slip* dan *reserve* pada tahun 2016.

Secara keseluruhan *event* gempa didapatkan bahwa pada region FAR SE OFF Boso Peninsula memiliki sesar jenis *reserve* 2 *event*, jenis *strike-slip* dan normal masing-masing 1 *event*. Region FAR S OFF Boso Peninsula memiliki sesar jenis *oblique* 3 *event*, jenis *reserve* 2 *event*. Region Kujukuri memiliki sesar jenis *oblique* 1 *event*, dan *reserve* 2 *event*. Dan region EAST OFF Boso Peninsula memiliki sesar jenis *oblique* 7 *event*, jenis normal 3 *event*, *reserve* 4 *event*, dan *strike-slip* 5 *event*. Besar momen tensor di wilayah Boso Peninsula berada di antara  $1.86\text{e}+17$  hingga  $9.50\text{E}+14$  Nm, dan besar pergeseran akibat gempa pada tahun 2011 sebesar 10.92 cm, tahun 2012 sebesar 5.42 cm, tahun 2013 sebesar 4.27 cm, tahun 2015 sebesar 6.56 cm, tahun 2016 sebesar 5.56 cm dan secara rerata 5 tahun sejak selama periode penelitian besar pergeseran adalah sebesar 6.21 cm.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil pengolahan data dapat dilakukan interpretasi dan ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Besar momen tensor gempa yang terjadi pada wilayah Boso Peninsula, Jepang selama 5 tahun.yaitu:
  - Pada region FAR SE OFF Boso Peninsula adalah  $5.833e+16$  sampai  $2.17e+18$  dengan rerata  $2.60E+17$  Nm.
  - Pada region FAR S OFF Boso Peninsula adalah  $2.25e+16$  sampai  $1.184e+17$  dengan rerata  $4.46E+16$  Nm.
  - Pada region Kujukuri adalah  $2.989e+16$  sampai  $4.959e+16$  dengan rerata  $2.20E+16$  Nm.
  - Pada region EAST OFF Boso Peninsula adalah  $1.33e+16$  sampai  $3.71e+17$  dengan rerata  $8.12E+16$  Nm.
2. Pola bidang dan karakteristik sesar pada wilayah Boso Peninsula, Jepang selama 5 tahun.yaitu:
  - Pada region FAR SE OFF Boso Peninsula adalah *oblique* pada tahun 2011, *reserve* pada tahun 2015, dan *strike-slip* dan *reserve* pada tahun 2016.
  - Pada region FAR S OFF Boso Peninsula adalah *oblique* pada tahun 2011 dan 2014, dan berjenis *reverse* pada tahun 2013 dan 2014
  - Pada region Kujukuri adalah *reserve* atau naik pada tahun 2014 hingga 2016 dan sesar *oblique* pada tahun 2011
  - Pada region EAST OFF Boso Peninsula adalah *oblique*, *reserve*, *strike-slip*, dan normal pada tahun 2011, *oblique* dan *strike-slip* pada tahun 2012, dan *normal* pada tahun 2013

3. Besar rerata *slip* dari sesar yang dihasilkan *event* gempa bumi di wilayah Boso Peninsula Jepang, yaitu:
  - Pada region FAR SE OFF Boso Peninsula adalah 6 sentimeter per tahun.
  - Pada region FAR S OFF Boso Peninsula adalah 4.21 sentimeter per tahun.
  - Pada region Kujukuri adalah 1.91 sentimeter per tahun.
  - Pada region EAST OFF Boso Peninsula adalah 1.47 sentimeter per tahun.

## 5.2. Saran

Hasil yang optimal pada penelitian ini dinilai bergantung pada *filter* dan jumlah stasiun yang digunakan dalam proses inversi. Diperlukan tinjauan lebih lanjut mengenai *filter* dan stasiun agar inversi efektif dan efisien sehingga didapatkan hasil yang semakin baik dan presisi. Serta dapat dilakukan plotting pada GMT untuk mengetahui adanya anomali pada satu daerah berdekatan namun pola sesar saling bertolak belakang sehingga dapat diketahui kondisi terkini dari geologi regional dan dapat dilakukan prediksi perkembangan ke depan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E., 1990, *Applied Geophysics Second Edition*, Cambridge University Press, Cambridge
- Elnashai, S.A. dan Sarno, D.L. 2008. *Fundamental of Earthquake Engineering*. Wiley. Hongkong
- Hasan, M. Mifta. 2014. *Analisa Pola Bidang Sesar pada Zona Subduksi di Wilayah Sumatera Barat dari Even Gempa pada Tahun 2013*. Tugas Akhir Jurusan Fisika FMIPA ITS Surabaya.
- Shearer, Peter M., 2009. *Introduction to Seismology Second Edition*. Cambridge University Press:New York.
- Abaz, Zumrotus, S., 2016. *Estimasi Momen Tensor, Pola Bidang Sesar dan Mekanisme Fokus Gempa Bumi Kumamoto Jepang pada Tahun 2016 Berdasarkan Inversi Waveform Tiga Komponen*. ITS press: Surabaya, Indonesia.
- Madlazim. 2011. *Estimasi CMT, Bidang Sesar dan Durasi Rupture Gempa Bumi di Sumatera serta Kemungkinan Peringatan Dini Tsunami*.
- Zahradnik, J., Gallovic F., E. Sokos, A. Serpetsidaki and G.A. Tselentis., 2008, *Quick Fault Plane Identification by a Geometrical Method: Application to the Mw 6.2 Leonido Earthquake*, 6 January 2008, Greece. Seismological Research Letters Volume 79, Number 5, September/October 2008, 653-662
- Kikuchi, M., Kanamori, H., 1991. *Inversion of Complex Body Wave-III*. Bull. Seism. Soc. Am., 81, 2335-2350.
- Udias A., et.al. 2014. *Source Mechanism of Earthquakes*. Cambridge University Press, United Kingdom.
- Backus, G.E. and M. Mulcahy. 1976. *Moment tensors and other phenomenological description of seismic waves*. I. Continous Displacement. Geophys. J. Roy Astr. Soc., 46, 341-361.



- Gilbert, F. 1970. *Excitation of the Normal Modes of the Earth by Earthquakes Sources*. Geophys. J. Roy Astr. Soc., 22, 223-226.
- Chiyonobu, S., Yamamoto, Y., Saito, S., 2016. Calcareous nannofossil biostratigraphy and geochronology of Neogene trench-slope cover sediments in the south Boso Peninsula, central Japan: Implications for the development of a shallow accretionary complex. Tectonophysics. doi:10.1016/j.tecto.2016.11.030
- Kazaoka, O., Suganuma, Y., Okada, M., Kameo, K., Head, M.J., Yoshida, T., Sugaya, M., Kameyama, S., Ogitsu, I., Nirei, H., Aida, N., Kumai, H., 2015. Stratigraphy of the Kazusa Group, Boso Peninsula: An expanded and highly-resolved marine sedimentary record from the Lower and Middle Pleistocene of central Japan. Quat. Int. 383, 116–135. doi:10.1016/j.quaint.2015.02.065
- Khoiridah, S., Santosa, B.J., 2014. Estimasi Centroid Moment Tensor (CMT), Bidang Sesar, Durasi Rupture, dan Pemodelan Deformasi Vertikal Sumber Gempa Bumi sebagai Studi Potensi Bahaya Tsunami di Laut Selatan Jawa. J. Sains Dan Seni ITS 3, B74–B79.
- Nainggolan, P.R.F., Santosa, B.J., 2013. Relokasi Hiposenter untuk Data Gempa Bumi di Wilayah Sumatera Barat dan Sekitarnya dengan Menggunakan Hypo71 (2009-10-01–2010-12-21). J. Sains Dan Seni ITS 2, B53–B58.
- Wifayanti, E.J., Santosa, B.J., 2014. Estimasi Pola Bidang Sesar dan Moment Tensor Gempa Bumi Jepang pada Tahun 2003 Menggunakan Analisis Inversi Waveform 3 Komponen. J. Sains Dan Seni ITS 3, B126–B131.
- Yamamoto, Y., 2014. Dewatering structure and soft-sediment deformation controlled by slope instability: examples from the late Miocene to Pliocene Miura–Boso accretionary prism and trench-slope basin, central Japan. Mar. Geol. 356, 65–70. doi:10.1016/j.margeo.2014.05.016

**Lampiran 1**  
**HASIL INVERSI MOMENT TENSOR TIAP *EVENT***

# MOMENT TENSOR SOLUTION

## HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20110126 05:24:39.24  
Lat 35.1842 Lon 141.4078 Depth 39.13

## CENTROID

Trial source number : 1 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 35.1842 Lon 141.4078  
Centroid Depth : 22  
Centroid time : +2.25 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 7.404e+016

Mw : 5.2

DC% :94.8

CLVD% :5.2

Var.red.(for stations used in inversion):0.57

Var.red.(for all stations) :0.57

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
76	65	79	TSK	+	+	+
Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
280	27	111	YME	+	+	+
			JIZ	+	+	+
P-axis Azimuth Plunge			SGN	+	+	+
		174 19	HRO	+	+	+
T-axis Azimuth Plunge			KES	+	+	+
		326 68	ONS	+	+	+
			HJO	+	+	+

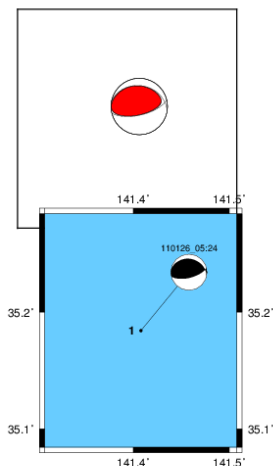
Mrr Mtt Mpp

5.177 -6.194 -0.107

Mrt Mrp Mtp

4.410 1.656 -0.191

Exponent (Nm): 16



# MOMENT TENSOR SOLUTION

## HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20110205 1:56:12.01  
Lat 34.8553 Lon 140.6198 Depth 68.85

## CENTROID

Trial source number : 1 (Fixed Epicenter inversion)

Centroid Lat 34.8553 Lon 140.6198

Centroid Depth : 61

Centroid time : +2.4 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 5.150e+016

Mw : 5.1

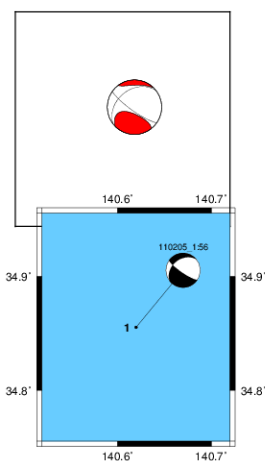
DC% :41.5

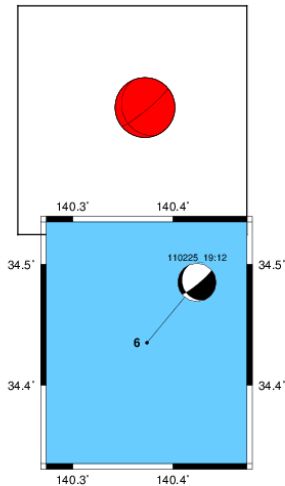
CLVD% :58.5

Var.red.(for stations used in inversion):0.92

Var.red.(for all stations) :0.92

Strike	Dip	Rake	Stations-Components Used			
231	36	-160	Station	NS	EW	Ver
Strike	Dip	Rake	JIZ	+	+	+
125	79	-56	KES	+	+	+
			FUJ	+	+	+
P-axis Azimuth Plunge			ONS	+	+	+
70 45			HJO	+	+	+
T-axis Azimuth Plunge			ASI	+	+	+
189 26			KNY	+	+	+
			HRO	+	+	+
Mrr	Mtt	Mpp	AGG	+	+	+
-2.663	2.705	-3.588	NNA	+	+	+
Mrt	Mrp	Mtp	KNM	+	+	+
-3.093	1.779	-0.390	KZK	+	+	+
Exponent (Nm):	16		SET	+	+	+





MOMENT TENSOR SOLUTION

HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20110225 19:12:29.49  
Lat 34.435 Lon 140.3737 Depth 56.33

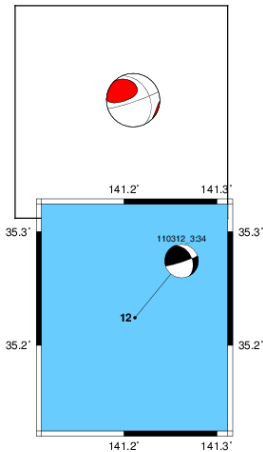
CENTROID

Trial source number : 6 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 34.435 Lon 140.3737  
Centroid Depth : 60  
Centroid time : +2.5 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 9.114e+016  
Mw : 5.2  
DC% :31.3  
CLVD% :68.7  
Var.red.(for stations used in inversion):0.84  
Var.red.(for all stations) :0.84

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
157	25	-162	KZS	+	+	+
50	82	-66	JIZ	+	+	+
			HJO	+	+	+
			SGN	+	+	+
			TSK	+	+	+
			FUJ	+	+	+
			KNY	+	+	+
			ONS	+	+	+

P-axis Azimuth Plunge  
345 47  
T-axis Azimuth Plunge  
120 33  
Mrr Mtt Mpp  
4.856 4.365 8.366  
Mrt Mrp Mtp  
-3.499 -3.355 1.800  
Exponent (Nm): 16



MOMENT TENSOR SOLUTION

HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20110312 3:34:43.98  
Lat 35.2243 Lon 141.2113 Depth 40.75

CENTROID

Trial source number : 12 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 35.2243 Lon 141.2113  
Centroid Depth : 31  
Centroid time : +1.8 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 4.461e+016  
Mw : 5  
DC% :67.9  
CLVD% :32.1  
Var.red.(for stations used in inversion):0.5  
Var.red.(for all stations) :0.5

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
335	38	171	JIZ	+	+	+
71	85	52	KZS	+	+	+
			HRO	+	+	+
			ASI	+	+	+
			ONS	+	+	+
			FUJ	+	+	+
			HJO	+	+	+
			KNY	+	+	+
			KZK	+	+	+
			SBT	+	+	+
			NNA	+	+	+
			KNM	+	+	+

Mrr Mtt Mpp  
-0.952 -3.510 -0.150  
Mrt Mrp Mtp  
2.877 1.305 1.815  
Exponent (Nm): 16

## MOMENT TENSOR SOLUTION

## HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20110313 04:36:11.48  
Lat 35.2295 Lon 141.441 Depth 27

### CENTROID

Trial source number : 1 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 35.2295 Lon 141.441  
Centroid Depth : 20  
Centroid time : +2 (sec) relative to origin time

**Moment (Nm) : 2.985e+016**

**Mw : 4.9**

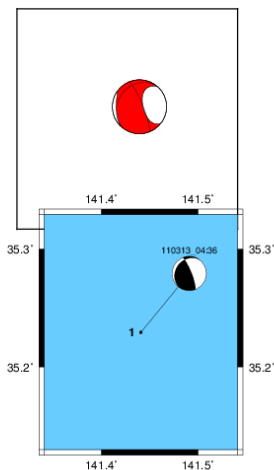
**DC% : 21.5**

CLVD% : 78.5

Var.red.(for stations used in inversion):0.76

Var.red. (for all stations)	:0.76
-----------------------------	-------

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
218	21	148	TSK	+	+	+
Strike	Dip	Rake				
338	79	72	YMZ	+	+	+
-----			JIZ	+	+	+
P-axis Azimuth Plunge			SGN	+	+	+
	83	32	KZS	+	+	+
T-axis Azimuth Plunge			ASI	+	+	+
	227	52	ONS	+	+	+
-----						
Mrr	Mrt	Mpp	BNZ	+	+	+
0.934	1.787	-1.392	NAA	+	+	+
Mrt	Mrp	Mtp	ADM	+	+	+
-----						
-0.543 2.355 0.262						
Exponent (Nm): 16						



## MOMENT TENSOR SOLUTION

## HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20110313 17:01:30.99  
Lat 35.2582 Lon 141.3023 Depth 23.23

### CENTROID

Trial source number : 1 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 35.2582 Lon 141.3023  
Centroid Depth : 20  
Centroid time : +5 (sec) relative to origin time

**Moment (Nm) : 7.369e+016**

Mw : 5 2

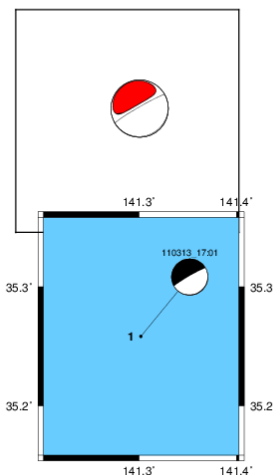
DC& : 71

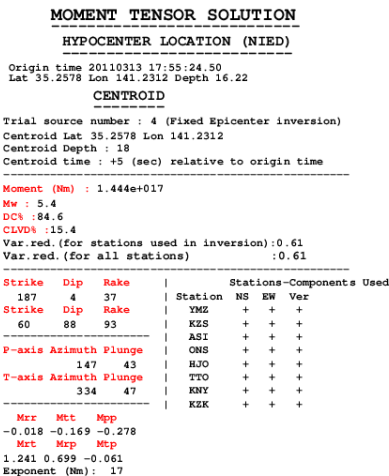
CLVD% : 29

```
Var. red. (for stations used in inversion): 0.67
```

```
Var. red. (for stations used in inversion): 0.67
Var. red. (for all stations)                : 0.67
```

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
240	85	-90				
Strike	Dip	Rake				
63	5	-87				
P-axis Azimuth Plunge						
	150	50				
T-axis Azimuth Plunge						
	330	40				
Mrr			Mtt	Mpp		
-2.961			-0.797	-1.032		
Mrr			Mtp			
6.061			3.509	0.144		
Exponent (Nm):			16			





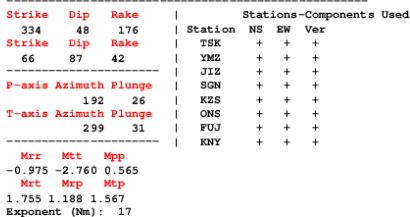
## HYPOCENTER LOCATION (NIED)

### CENTROID

```

Moment (Nm) : 3.375e+017
Mw : 5.6
DC% :57
CLVD% :43
Var.red.(for stations used in inversion):0.79
Var.red.(for all stations) :0.79

```



# MOMENT TENSOR SOLUTION

## HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20110320 10:35:52.58  
Lat 35.2412 Lon 141.3028 Depth 27.34

## CENTROID

Trial source number : 12 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 35.2412 Lon 141.3028  
Centroid Depth : 28  
Centroid time : +2.5 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 2.628e+016

Mw : 4.9

DC% :59

CLVD% :41

Var.red.(for stations used in inversion):0.57

Var.red.(for all stations) :0.57

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
357	32	-130	TSK	+	+	+
221	66	-68	JIZ	+	+	+
			SGN	+	+	+
P-axis Azimuth Plunge			HRO	+	+	+
	166	62	KES	+	+	+
T-axis Azimuth Plunge			ONS	+	+	+
	296	19	HJO	+	+	+
			ADM	+	+	+

Mrr Mtt Mpp  
-2.278 -0.906 1.130

Mrt Mrp Mtp

1.181 1.004 0.926

Exponent (Nm): 16

# MOMENT TENSOR SOLUTION

## HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20110320 14:48:50.41  
Lat 35.4287 Lon 141.2685 Depth 35.89

## CENTROID

Trial source number : 1 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 35.4287 Lon 141.2685  
Centroid Depth : 31  
Centroid time : +4 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 5.698e+016

Mw : 5.1

DC% :26

CLVD% :74

Var.red.(for stations used in inversion):0.87

Var.red.(for all stations) :0.87

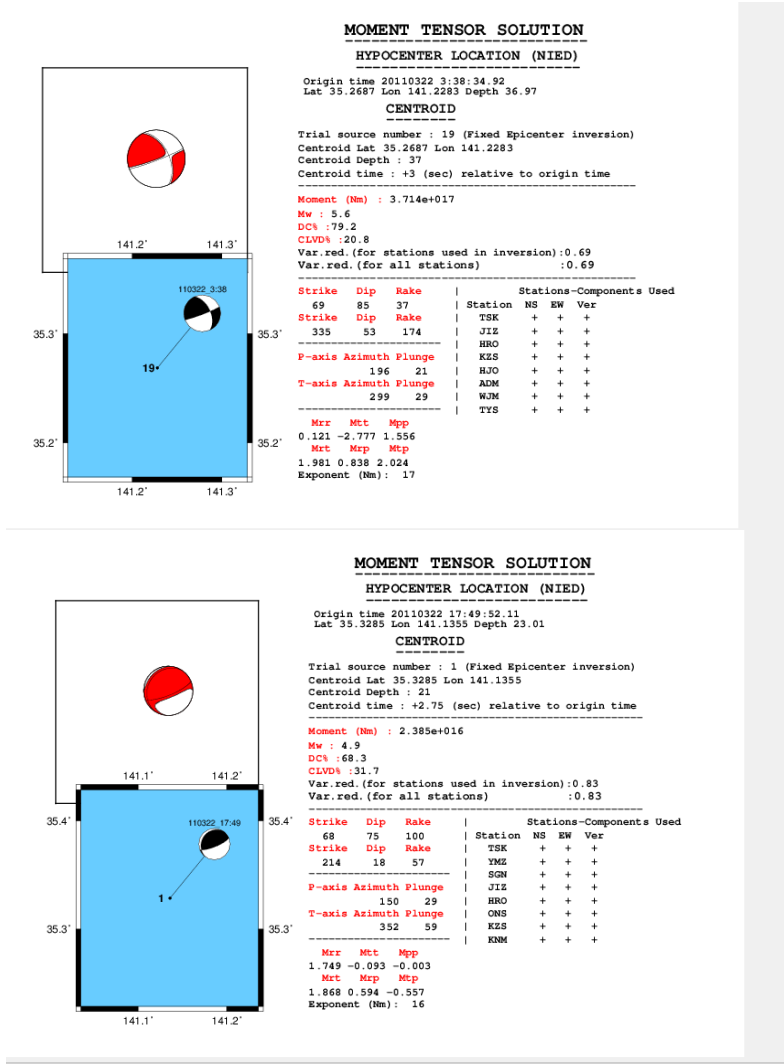
Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
310	68	-138	TSK	+	+	+
201	52	-29	YME	+	+	+
			HRO	+	+	+
P-axis Azimuth Plunge			SGN	+	+	+
	172	45	ASI	+	+	+
T-axis Azimuth Plunge			JIZ	+	+	+
	72	10	ONS	+	+	+
			KES	+	+	+

Mrr Mtt Mpp  
-2.679 -2.414 3.191

Mrt Mrp Mtp

4.416 0.320 -1.128

Exponent (Nm): 16



## MOMENT TENSOR SOLUTION

## HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20110322 3:38:34.92  
Lat 35.2687 Lon 141.2283 Depth 36.97

### CENTROID

Trial source number : 19 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 35.2687 Lon 141.2283  
Centroid Depth : 37  
Centroid time : +3 (sec) relative to origin time

**Moment (Nm) : 3.714e+017**

**Mw : 5.6**

**DC8 : 79.2**

CLVD% : 20.8

Var.red.(for stations used in inversion):0.69

Var.red. (for all stations)	: 0.69
-----------------------------	--------

Strike	Dip	Take	Stations-Components Used				
61	85	37	TSK	NS	EW	Ver	
Strike	Dip	Take					
335	53	174	JIZ	+	+	+	
			HRO	+	+	+	
P-axis Azimuth Plunge			KZS	+	+	+	
	196	21	HJO	+	+	+	
T-axis Azimuth Plunge			ADM	+	+	+	
	299	29	WJM	+	+	+	
			TYS	+	+	+	

Mrr	Mtt	Mpp
0.121	-2.777	1.556

Mrt      Mrp      Mtp

1.981 0.838 2.024

Exponent (Nm): 17

— *Journal of the American Medical Association*, 1997

## MOMENT TENSOR SOLUTION

## HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20110322 17:49:52.11  
Lat 35.3285 Lon 141.1355 Depth 23.01

### CENTROID

Trial source number : 1 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 35.3285 Lon 141.1355  
Centroid Depth : 21  
Centroid time : +2.75 (sec) relative to origin time

**Moment (Nm) : 2.385e+016**

**Mw : 4.9**

DC% : 68.3

CLVD% : 31.7

Var.red. (for stations used in inversion): 0.83

Var. red. (for all stations) : 0.83

Strike	Dip	Rate	Station	NS	EW	Ver
68	75	100	YSK	+	+	+
Strike	Dip	Rate	YSK	+	+	+
214	18	57	SGN	+	+	+
P-axis Azimuth Plunge			JIZ	+	+	+
	150	29	HRO	+	+	+
T-axis Azimuth Plunge			ONS	+	+	+
	352	59	KZS	+	+	+
			KNM	+	+	+

Mrr    Mtt    Mpp

	Feb	Mar	Apr
1.749	-0.093	-0.003	

Mrt      Mrp      Mtp

1.868 0.594 -0.557

Exponent (Nm): 16



# MOMENT TENSOR SOLUTION

## HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20110322 23:46:50.58  
Lat 35.2587 Lon 141.2282 Depth 38.47

## CENTROID

Trial source number : 21 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 35.2587 Lon 141.2282  
Centroid Depth : 36  
Centroid time : -0.25 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 3.190e+016

Mw : 4.9

DC% :79.3

CIDV% :20.7

Var.red.(for stations used in inversion):0.82

Var.red.(for all stations) :0.82

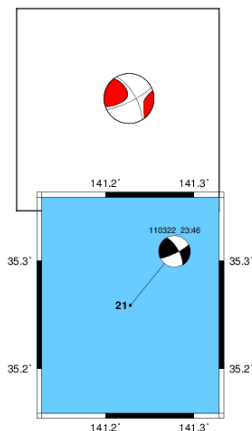
Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
330	70	169	TSK	+	+	+
64	80	21	YME	+	+	+
			JIZ	+	+	+
			SGN	+	+	+
			HRO	+	+	+
			KES	+	+	+
			HJO	+	+	+
			ADM	+	+	+

Mrr Mtt Mpp  
-0.323 -3.288 1.418

Mrt Mrp Mtp

0.674 0.896 1.567

Exponent (Nm): 16



# MOMENT TENSOR SOLUTION

## HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20110327 10:23:19.76  
Lat 35.3142 Lon 141.164 Depth 31.37

## CENTROID

Trial source number : 12 (Fixed Epicenter inversion)

Centroid Lat 35.3142 Lon 141.164

Centroid Depth : 30

Centroid time : +1.5 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 3.252e+016

Mw : 4.9

DC% :80.2

CIDV% :19.8

Var.red.(for stations used in inversion):0.83

Var.red.(for all stations) :0.83

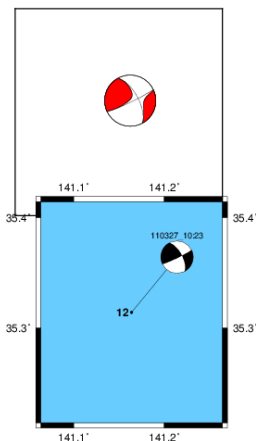
Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
64	85	26	TSK	+	+	+
332	64	174	JIZ	+	+	+
			SGN	+	+	+
			HRO	+	+	+
			KES	+	+	+
			HJO	+	+	+
			KIK	+	+	+
			NAA	+	+	+

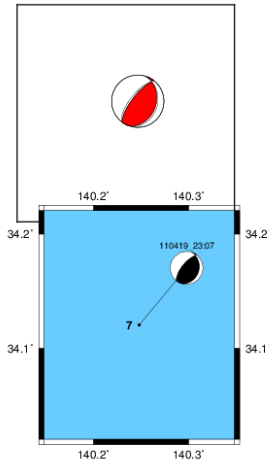
Mrr Mtt Mpp  
-0.123 -2.550 2.081

Mrt Mrp Mtp

1.103 0.979 1.726

Exponent (Nm): 16





**MOMENT TENSOR SOLUTION**

**HYPOCENTER LOCATION (NIED)**

Origin time 20110419 23:07:02.24  
Lat 34.1205 Lon 140.2482 Depth 84.26

**CENTROID**

Trial source number : 7 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 34.1205 Lon 140.2482  
Centroid Depth : 85  
Centroid time : +3 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 2.251e+016

Mw : 4.8

DC% : 66.2

CLVD% : 33.8

Var.red.(for stations used in inversion):0.75

Var.red.(for all stations) : 0.75

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
219	67	100	KZS	+	+	+
Strike	Dip	Rake	HJO	+	+	+
14	25	67	JIZ	+	+	+
P-axis Azimuth Plunge			SGN	+	+	+
301			TSK	+	+	+
T-axis Azimuth Plunge			WTR	+	+	+
147			HRO	+	+	+
			KZK	+	+	+

Mrr Mtt Mpp

1.118 -0.423 -1.603

Mrt Mrp Mtp

-1.010 -1.121 -0.889

Exponent (Nm): 16

**MOMENT TENSOR SOLUTION**

**HYPOCENTER LOCATION (NIED)**

Origin time 20110424 21:06:34.37  
Lat 35.2255 Lon 141.2443 Depth 39.63

**CENTROID**

Trial source number : 20 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 35.2255 Lon 141.2443  
Centroid Depth : 38  
Centroid time : +1 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 3.759e+016

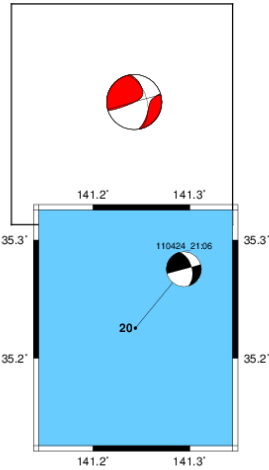
Mw : 5

DC% : 63.7

CLVD% : 36.3

Var.red.(for stations used in inversion):0.67

Var.red.(for all stations) : 0.67



Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
345	52	-180	TSK	+	+	+
Strike	Dip	Rake	JIZ	+	+	+
255	90	-38	KZS	+	+	+
P-axis Azimuth Plunge			HRO	+	+	+
203			ASI	+	+	+
T-axis Azimuth Plunge			KZK	+	+	+
307			NAA	+	+	+
			KIS	+	+	+

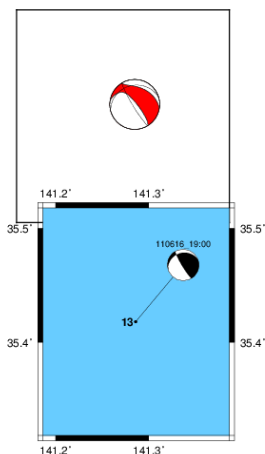
Mrr Mtt Mpp

0.034 -0.835 1.784

Mrt Mrp Mtp

2.096 1.025 2.596

Exponent (Nm): 16



### MOMENT TENSOR SOLUTION

#### HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20110616 19:00:13.27  
Lat 35.418 Lon 141.2865 Depth 31.46

#### CENTROID

Trial source number : 13 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 35.418 Lon 141.2865  
Centroid Depth : 31  
Centroid time : +3 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 1.329e+016

Mw : 4.7

DC% :29.1

CLVD% :70.9

Var.red.(for stations used in inversion):0.5

Var.red.(for all stations) :0.5

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
149	83	114	TSK	+	+	+
255	25	17	YME	+	+	+
			HRO	+	+	+
P-axis Azimuth Plunge			JIZ	+	+	+
	219	34	KZS	+	+	+
T-axis Azimuth Plunge			FUJ	+	+	+
	83	47	HJO	+	+	+
			KZK	+	+	+

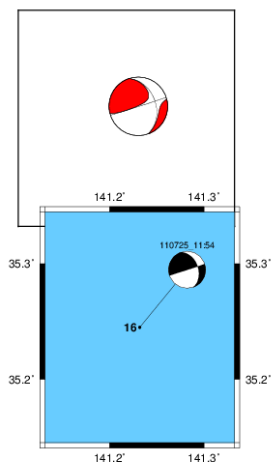
Mrr Mtt Mpp

-2.119 -6.848 -1.800

Mrr Mrp Mtp

7.008 -7.992 6.023

Exponent (Nm) : 15



### MOMENT TENSOR SOLUTION

#### HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20110725 11:54:48.95  
Lat 35.2448 Lon 141.232 Depth 36.96

#### CENTROID

Trial source number : 16 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 35.2448 Lon 141.232  
Centroid Depth : 37  
Centroid time : +2.25 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 1.737e+017

Mw : 5.4

DC% :80.4

CLVD% :19.6

Var.red.(for stations used in inversion):0.56

Var.red.(for all stations) :0.56

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
341	40	179	TSK	+	+	+
72	89	50	JIZ	+	+	+
			SGN	+	+	+
P-axis Azimuth Plunge			HRO	+	+	+
	195	32	KZS	+	+	+
T-axis Azimuth Plunge			HJO	+	+	+
	309	33	KZK	+	+	+
			ADM	+	+	+

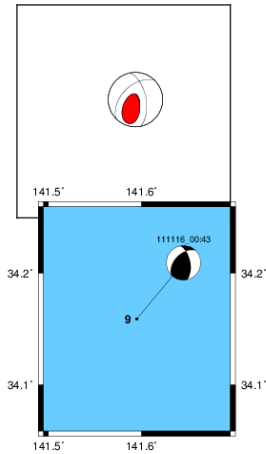
Mrr Mtt Mpp

-0.070 -0.725 0.511

Mrr Mrp Mtp

1.222 0.516 0.928

Exponent (Nm) : 17



### MOMENT TENSOR SOLUTION

#### HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20111116 00:43:53.89  
Lat 34.159 Lon 141.595 Depth 11.14

#### CENTROID

Trial source number : 9 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 34.159 Lon 141.595  
Centroid Depth : 11  
Centroid time : +4 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 6.150e+016

Mw : 5.1

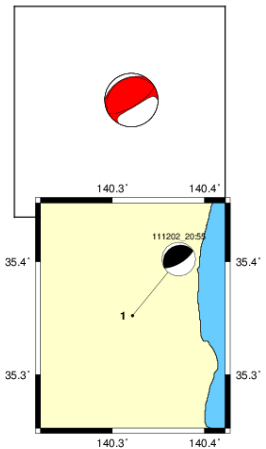
DC% :39.2

CLVD% :60.8

Var.red.(for stations used in inversion):0.81

Var.red.(for all stations) :0.81

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
225	48	135	KES	+	+	+
Strike	Dip	Rake	AOG	+	+	+
349	58	52	TSK	+	+	+
P-axis Azimuth Plunge			SGN	+	+	+
105 6			ONS	+	+	+
T-axis Azimuth Plunge			KNY	+	+	+
204 58			ASI	+	+	+
Mrr Mtt Mpp			HRO	+	+	+
0.823 -1.147 -7.682			NAA	+	+	+
Mrt Mrp Mtp			KSK	+	+	+
-1.183 1.242 -2.091			SBT	+	+	+
Exponent (Nm): 16			ADM	+	+	+
			KIS	+	+	+



### MOMENT TENSOR SOLUTION

#### HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20111202 20:55:29.00  
Lat 35.3523 Lon 140.3223 Depth 22.02

#### CENTROID

Trial source number : 1 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 35.3523 Lon 140.3223  
Centroid Depth : 18  
Centroid time : +3.25 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 4.959e+016

Mw : 5.1

DC% :72.8

CLVD% :27.2

Var.red.(for stations used in inversion):0.91

Var.red.(for all stations) :0.91

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
240	20	91	TSK	+	+	+
Strike	Dip	Rake	SGN	+	+	+
59	70	90	JIE	+	+	+
P-axis Azimuth Plunge			HRO	+	+	+
149 25			NAA	+	+	+
T-axis Azimuth Plunge			KZK	+	+	+
329 65			ADM	+	+	+
Mrr Mtt Mpp						
3.430 -1.783 0.074						
Mrt Mrp Mtp						
3.254 1.948 -1.652						
Exponent (Nm): 16						

# MOMENT TENSOR SOLUTION

## HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20120229 14:32:46  
Lat 35.3363 Lon 141.2798 Depth 39.29

## CENTROID

Trial source number : 13 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 35.3363 Lon 141.2798  
Centroid Depth : 29  
Centroid time : +2.5 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 3.512e+017

Mw : 5.6

DC% :74

CLVD% :26

Var.red.(for stations used in inversion):0.83

Var.red.(for all stations) :0.83

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
19	37	-121	TSK	+	+	+
Strike	Dip	Rake	YKZ	+	+	+
235	59	-69	HRO	+	+	+
P-axis Azimuth Plunge			SGN	+	+	+
	188	69	KZS	+	+	+
T-axis Azimuth Plunge			KSK	+	+	+
	310	12	NAA	+	+	+
			ADM	+	+	+

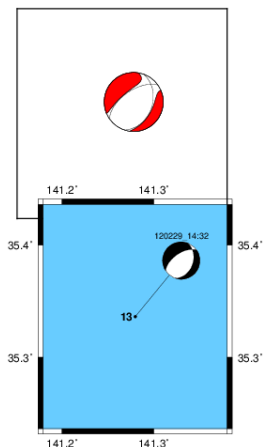
Mrr Mtt Mpp

-3.073 0.544 1.543

Mrt Mrp Mtp

1.515 0.462 1.942

Exponent (Nm): 17



# MOMENT TENSOR SOLUTION

## HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20120302 10:11:40.75  
Lat 35.2428 Lon 141.3667 Depth 34.1

## CENTROID

Trial source number : 4 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 35.2428 Lon 141.3667  
Centroid Depth : 22  
Centroid time : +3.25 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 5.506e+016

Mw : 5.1

DC% :41

CLVD% :59

Var.red.(for stations used in inversion):0.67

Var.red.(for all stations) :0.67

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
37	81	45	TSK	+	+	+
Strike	Dip	Rake	SGN	+	+	+
298	46	167	HRO	+	+	+
P-axis Azimuth Plunge			KZS	+	+	+
	160	22	HJO	+	+	+
T-axis Azimuth Plunge			KSK	+	+	+
	268	38	KZK	+	+	+
			ADM	+	+	+

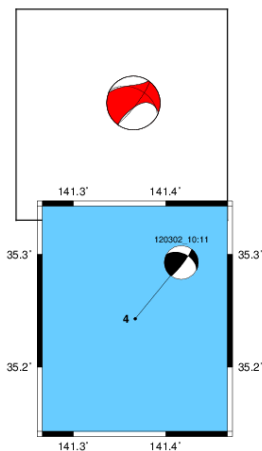
Mrr Mtt Mpp

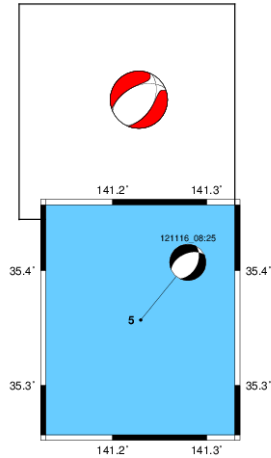
1.597 -4.266 2.582

Mrt Mrp Mtp

2.602 2.191 -2.245

Exponent (Nm): 16





# MOMENT TENSOR SOLUTION

## HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20121116 08:25:53.87  
Lat 35.357 Lon 141.2297 Depth 30.24

### CENTROID

Trial source number : 5 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 35.357 Lon 141.2297  
Centroid Depth : 29  
Centroid time : +2.6 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 1.204e+017  
Mw : 5.3  
DC% :78.1  
CLVD% :21.9  
Var.red.(for stations used in inversion):0.73  
Var.red.(for all stations) :0.73

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
246	50	-63	TSK	+	+	+
Strike	Dip	Rake	YME	+	+	+
27	47	-119	SGN	+	+	+
P-axis Azimuth Plunge			HRO	+	+	+
223 69			ASI	+	+	+
T-axis Azimuth Plunge			ONS	+	+	+
317 1			FUJ	+	+	+
			HJO	+	+	+
Mxx	Mtt	Mpp	KNY	+	+	+
-1.022	0.531	0.442	KZK	+	+	+
Mrt	Mrp	Mtp	KSK	+	+	+
0.268	-0.202	0.759	SBT	+	+	+
Exponent (Nm) : 17			ADM	+	+	+

# MOMENT TENSOR SOLUTION

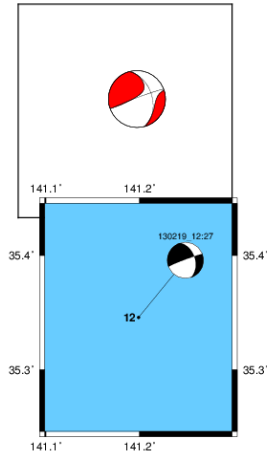
## HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20130219 12:27:35.26  
Lat 35.3458 Lon 141.1988 Depth 37.21

### CENTROID

Trial source number : 12 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 35.3458 Lon 141.1988  
Centroid Depth : 39  
Centroid time : +1.2 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 1.326e+017  
Mw : 5.3  
DC% :71.1  
CLVD% :28.9  
Var.red.(for stations used in inversion):0.7  
Var.red.(for all stations) :0.7



Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
343	46	-175	YME	+	+	+
Strike	Dip	Rake	SGN	+	+	+
249	86	-44	ASI	+	+	+
P-axis Azimuth Plunge			FUJ	+	+	+
196 33			KZK	+	+	+
T-axis Azimuth Plunge			SBT	+	+	+
305 26			AOG	+	+	+
			NAA	+	+	+
Mxx	Mtt	Mpp	KNM	+	+	+
-1.937	-4.569	5.901	ADM	+	+	+
Mrt	Mrp	Mtp	KIS	+	+	+
8.130	3.954	8.021				
Exponent (Nm) : 16						

# MOMENT TENSOR SOLUTION

## HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20130528 19:24:24.53  
Lat 34.1818 Lon 140.8122 Depth 39.7

## CENTROID

Trial source number : 1 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 34.1818 Lon 140.8122  
Centroid Depth : 38  
Centroid time : +4 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 5.833e+016

Mw : 5.1

DC% :53.9

CLVD% :46.1

Var.red.(for stations used in inversion):0.63

Var.red.(for all stations) :0.63

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
150	30	103	AOG	+	+	+
Strike	Dip	Rake	SGN	+	+	+
315	61	83	TSK	+	+	+

P-axis Azimuth Plunge

50 15

T-axis Azimuth Plunge

206 73

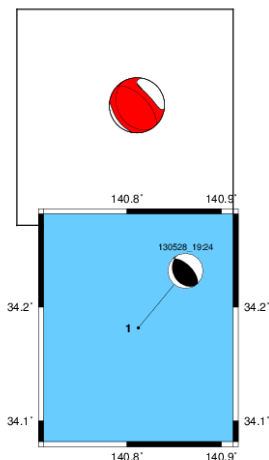
Mxx Mtt Mpp

6.914 0.613 -0.397

Mrt Mrp Mtp

-2.142 1.546 1.697

Exponent (Nm) : 16



# MOMENT TENSOR SOLUTION

## HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20140102 13:11:04.06  
Lat 35.351 Lon 140.5685 Depth 26.43

## CENTROID

Trial source number : 1 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 35.351 Lon 140.5685  
Centroid Depth : 26  
Centroid time : +4 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 3.066e+016

Mw : 4.9

DC% :66.9

CLVD% :33.1

Var.red.(for stations used in inversion):0.84

Var.red.(for all stations) :0.84

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
229	19	100	TSK	+	+	+
Strike	Dip	Rake	SGN	+	+	+
38	72	87	JIZ	+	+	+

P-axis Azimuth Plunge

131 27

T-axis Azimuth Plunge

303 63

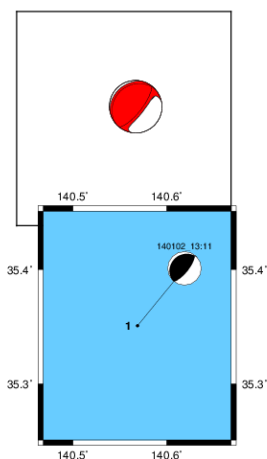
Mxx Mtt Mpp

2.596 -0.209 -0.217

Mrt Mrp Mtp

1.387 1.892 -0.693

Exponent (Nm) : 16







# MOMENT TENSOR SOLUTION

## HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20150314 15:36:10.32  
Lat 34.2863 Lon 141.5855 Depth 32.31

## CENTROID

Trial source number : 9 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 34.2863 Lon 141.5855  
Centroid Depth : 15  
Centroid time : -0.6 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 4.831e+016

Mw : 5.1

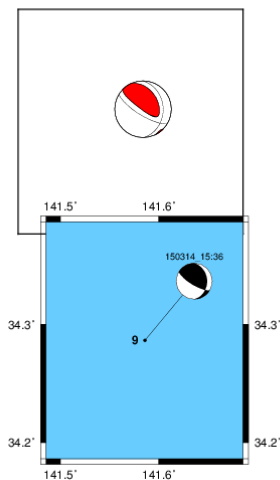
DCM : 37.9

CLVD% : 62.1

Var.red.(for stations used in inversion):0.78

Var.red.(for all stations) :0.78

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
121	73	65	TSK	+	+	+
Strike	Dip	Rake	TSK	+	+	+
358	30	143	AOG	+	+	+
			FUJ	+	+	+
P-axis Azimuth Plunge			YME	+	+	+
			ASI	+	+	+
T-axis Azimuth Plunge			KNY	+	+	+
			TTO	+	+	+
			NAA	+	+	+
Mrr	Mtt	Mpp	KNM	+	+	+
0.348	-1.644	-3.383	KSK	+	+	+
Mrt	Mrp	Mtp	ADM	+	+	+
2.595	-1.743	2.536				
Exponent (Nm) : 16						



# MOMENT TENSOR SOLUTION

## HYPOCENTER LOCATION (NIED)

Origin time 20160719 03:57:50.30  
Lat 35.4152 Lon 140.3528 Depth 32.77

## CENTROID

Trial source number : 1 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 35.4152 Lon 140.3528  
Centroid Depth : 32  
Centroid time : +3.2 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 2.989e+016

Mw : 4.9

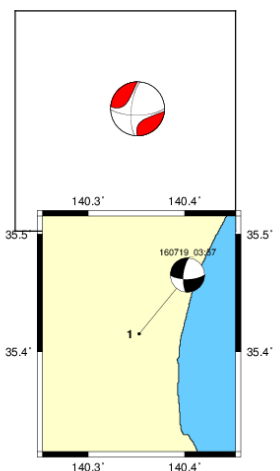
DCM : 56.8

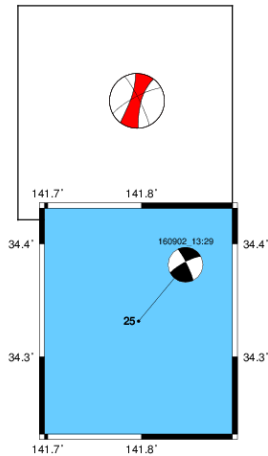
CLVD% : 43.2

Var.red.(for stations used in inversion):0.92

Var.red.(for all stations) :0.92

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
186	71	-159	ASI	+	+	+
Strike	Dip	Rake	FUJ	+	+	+
89	70	-20	KNY	+	+	+
			KZK	+	+	+
P-axis Azimuth Plunge			NAA	+	+	+
			KNM	+	+	+
T-axis Azimuth Plunge			SBT	+	+	+
			KSK	+	+	+
			ADM	+	+	+
			KSN	+	+	+
Mrr	Mtt	Mpp				
-1.591	-0.017	-0.468				
Mrt	Mrp	Mtp				
-0.577	0.691	2.598				
Exponent (Nm) : 16						





**MOMENT TENSOR SOLUTION**

**HYPOCENTER LOCATION (NIED)**

Origin time 20160902 13:29:33.83  
Lat 34.3315 Lon 141.7968 Depth 27.21

**CENTROID**

Trial source number : 25 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 34.3315 Lon 141.7968  
Centroid Depth : 28  
Centroid time : +4.75 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 6.101e+016

Mw : 5.1

DC% : 6.4

CLVD% : 93.6

Var.red.(for stations used in inversion):0.69

Var.red.(for all stations) :0.69

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
242	78	173	AOG	+	+	+
333	83	12	ASI	+	+	+
			KNY	+	+	+
			TTO	+	+	+
			KSK	+	+	+
			SBT	+	+	+
			KSN	+	+	+
			WJM	+	+	+

Mrr Mrt Mpp

0.620 0.293 -7.655

Mrt Mrp Mtp

0.040 0.555 -2.716

Exponent (Nm) : 16

**MOMENT TENSOR SOLUTION**

**HYPOCENTER LOCATION (NIED)**

Origin time 20160923 0:14:31.35  
Lat 34.3963 Lon 141.8438 Depth 31.81

**CENTROID**

Trial source number : 1 (Fixed Epicenter inversion)  
Centroid Lat 34.3963 Lon 141.8438  
Centroid Depth : 10  
Centroid time : +4.75 (sec) relative to origin time

Moment (Nm) : 2.227e+018

Mw : 6.2

DC% : 74.5

CLVD% : 25.5

Var.red.(for stations used in inversion):0.58

Var.red.(for all stations) :0.58

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver
180	52	86	HJO	+	+	+
7	38	95	KZS	+	+	+
			JLZ	+	+	+
			AOG	+	+	+
			ONS	+	+	+
			HRO	+	+	+
			ASI	+	+	+
			NAA	+	+	+

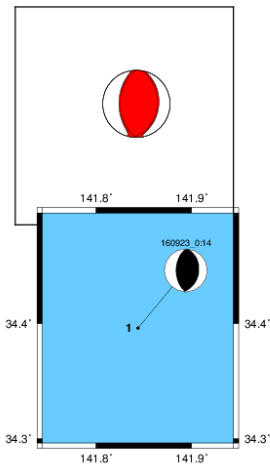
Mrr Mrt Mpp

2.500 0.096 -1.752

Mrt Mrp Mtp

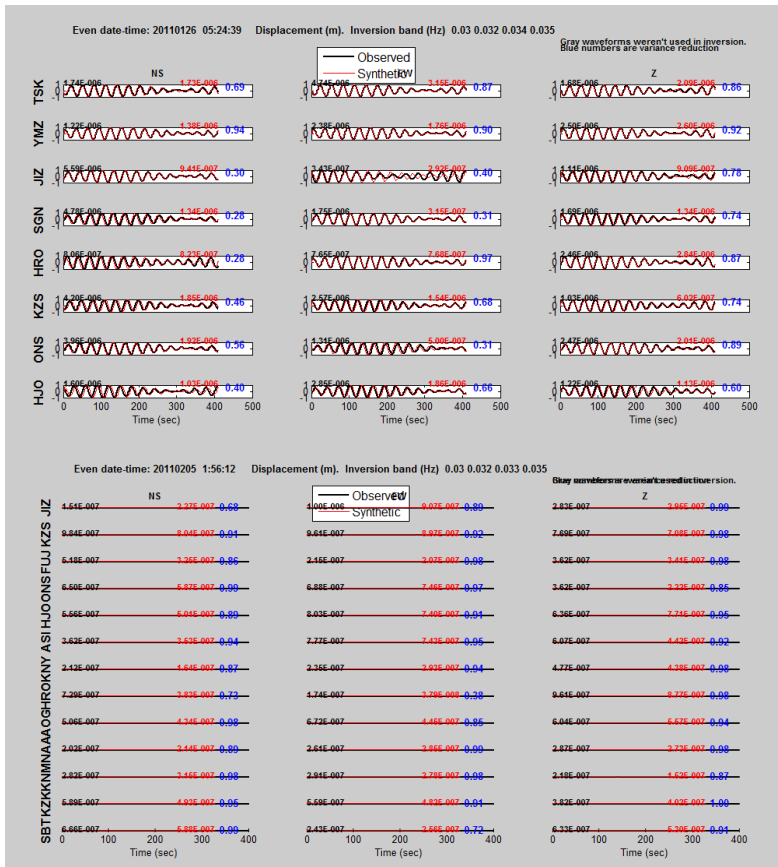
0.115 -0.518 -0.107

Exponent (Nm) : 18



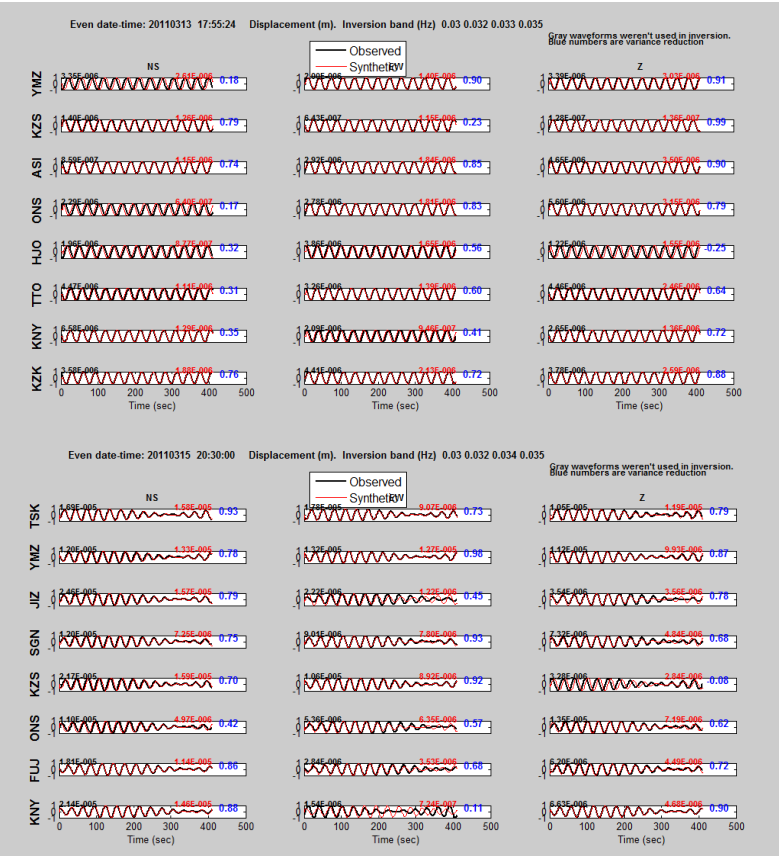
## Lampiran 2

### HASIL INVERSI ONSERVASI DAN *REAL*

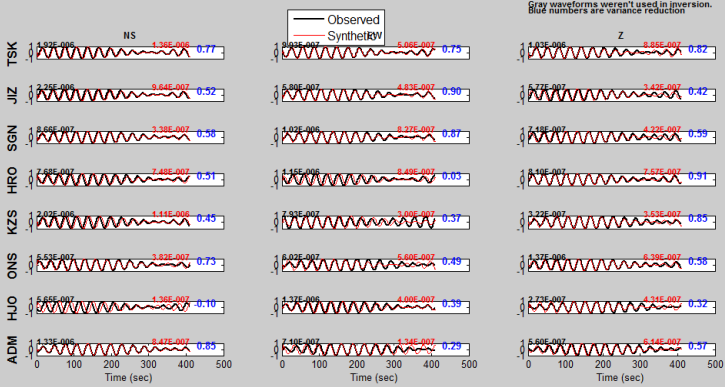




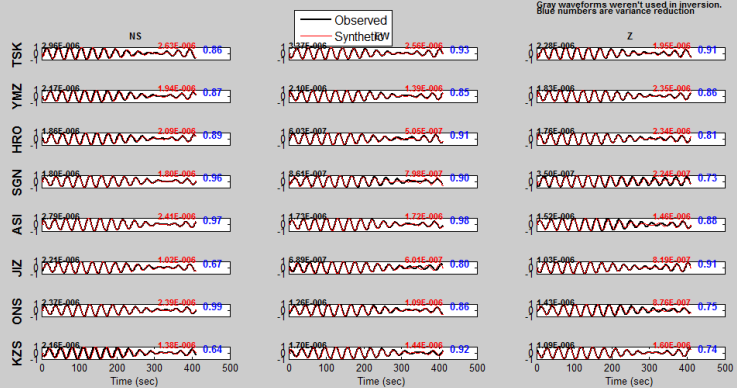


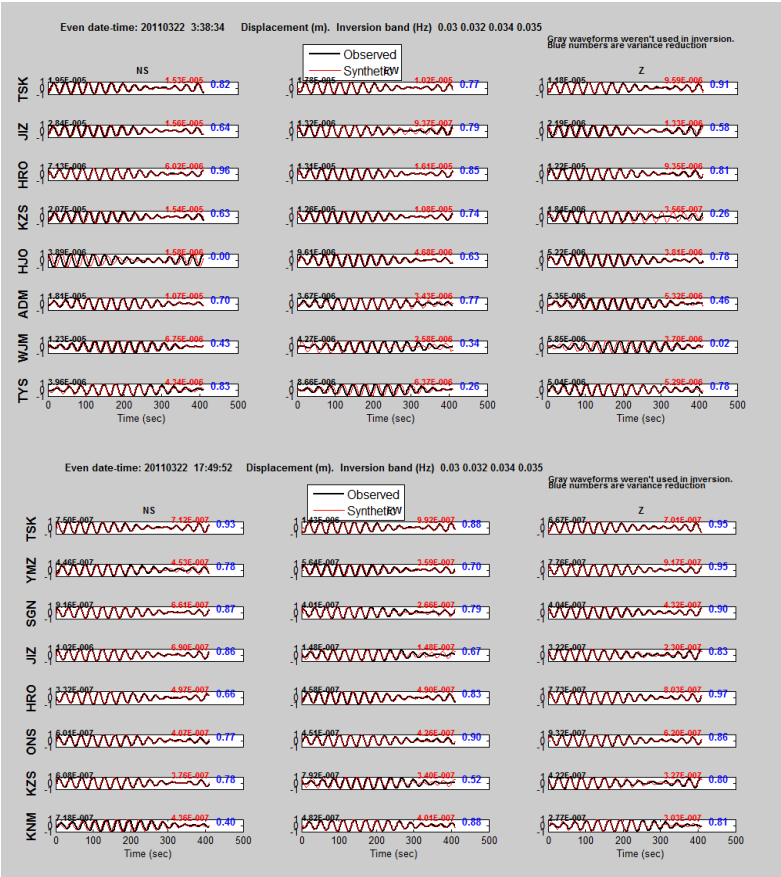


Even date-time: 20110320 10:35:52 Displacement (m). Inversion band (Hz) 0.03 0.032 0.034 0.035

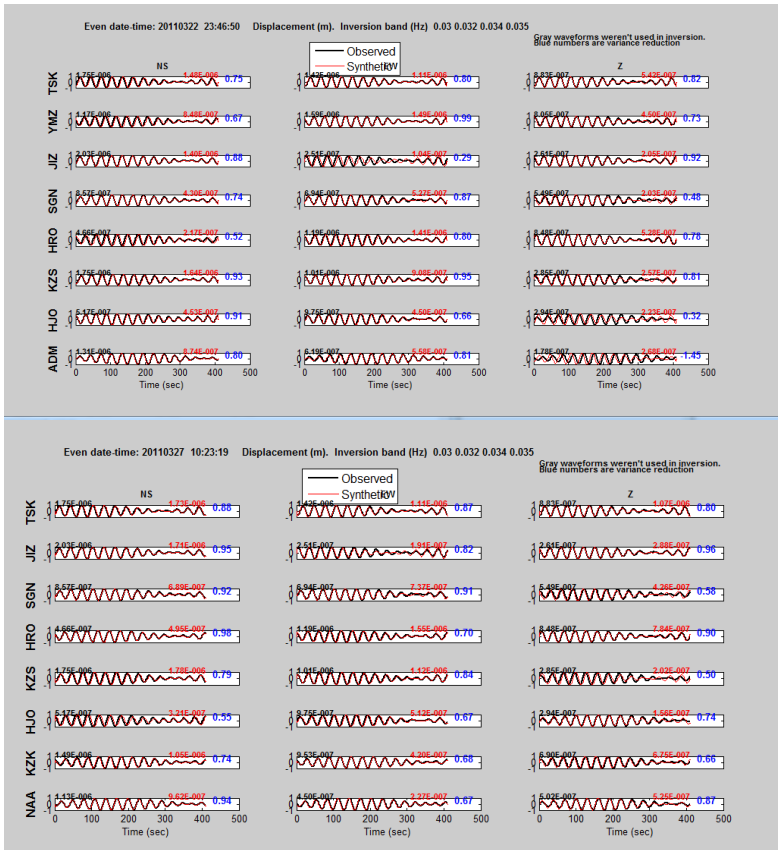


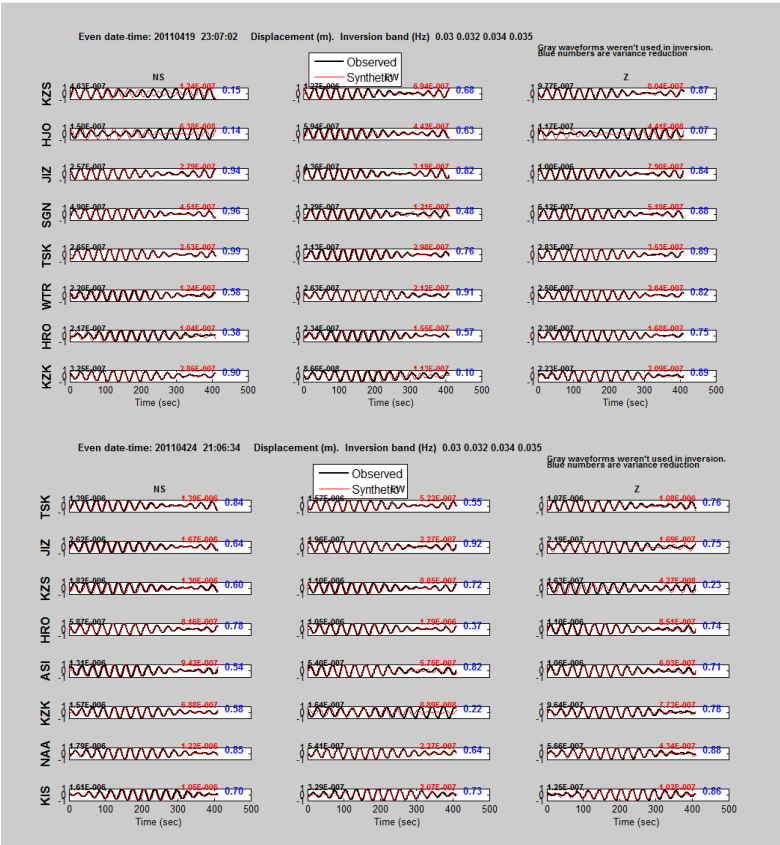
Even date-time: 20110320 14:48:50 Displacement (m). Inversion band (Hz) 0.03 0.032 0.034 0.035

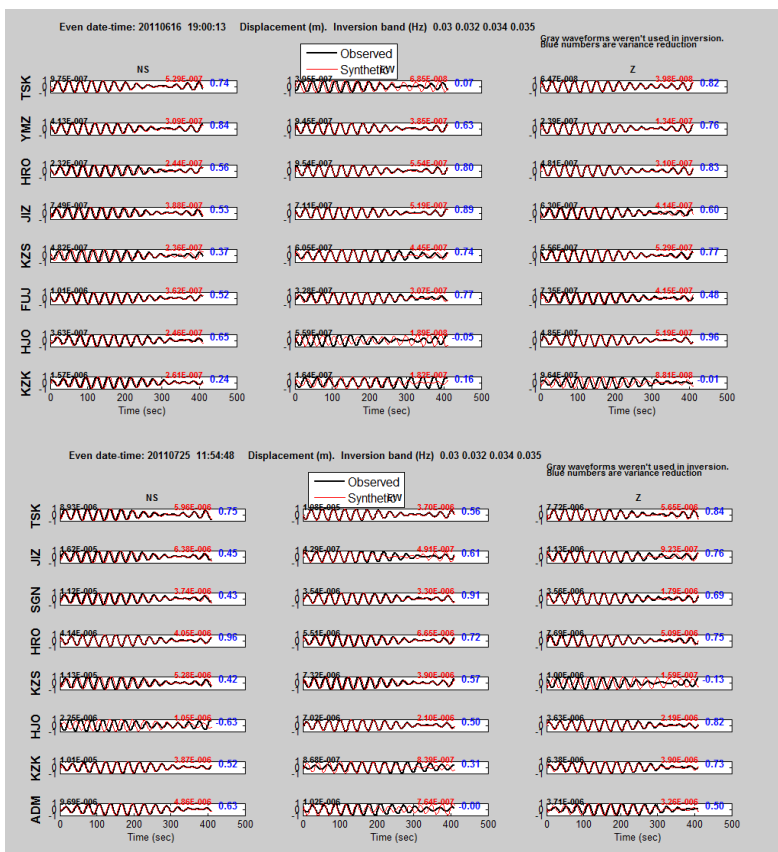


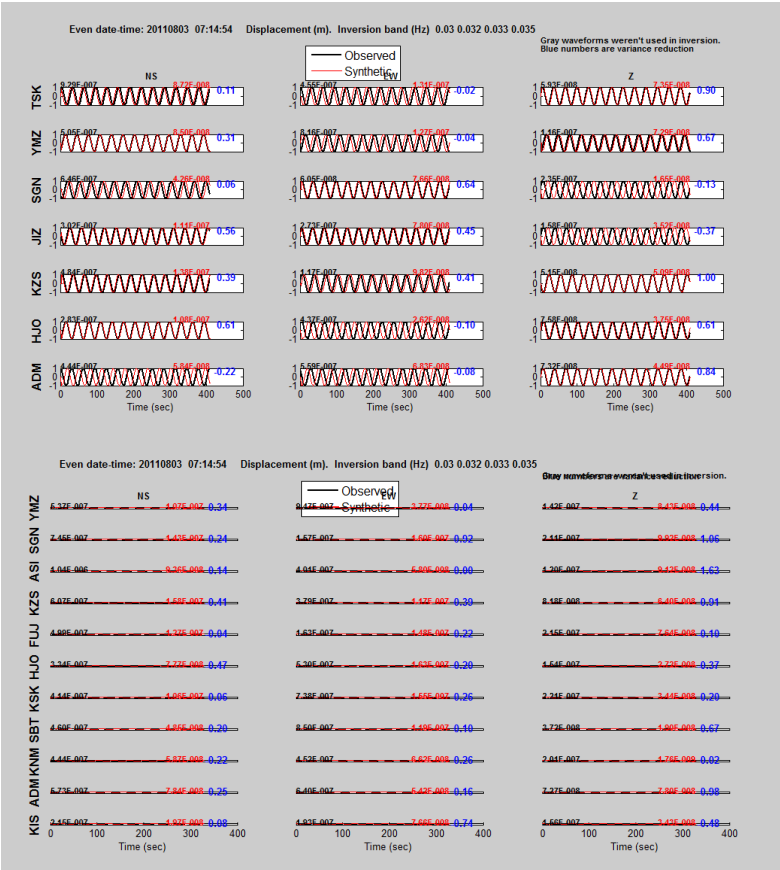




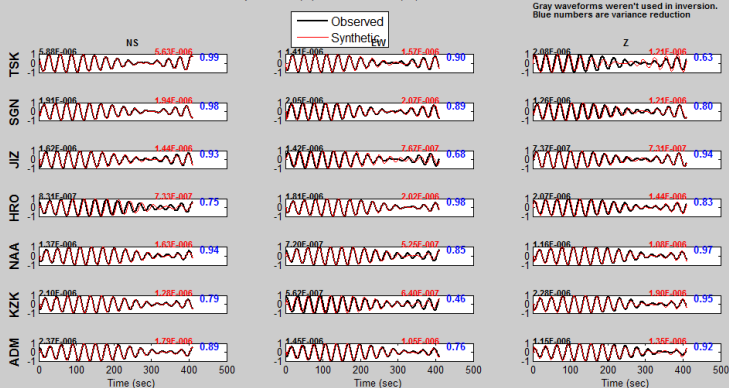




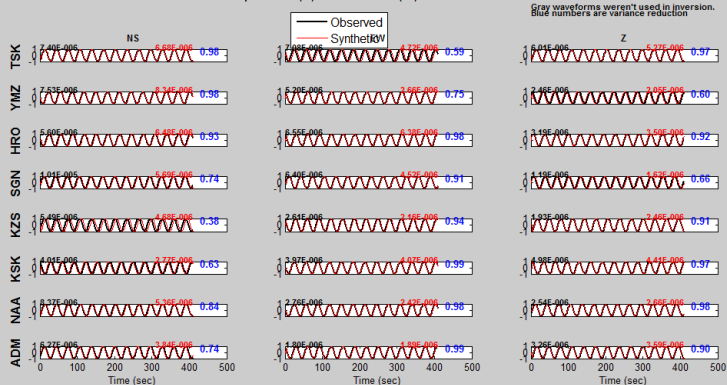


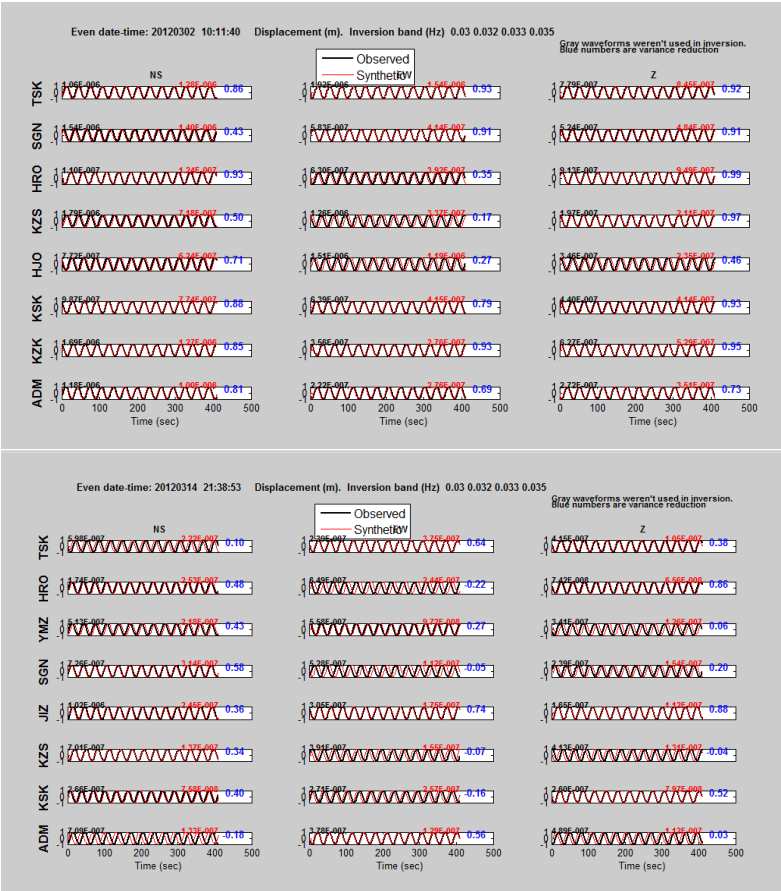


Even date-time: 20111202 20:55:29 Displacement (m). Inversion band (Hz) 0.03 0.032 0.034 0.035

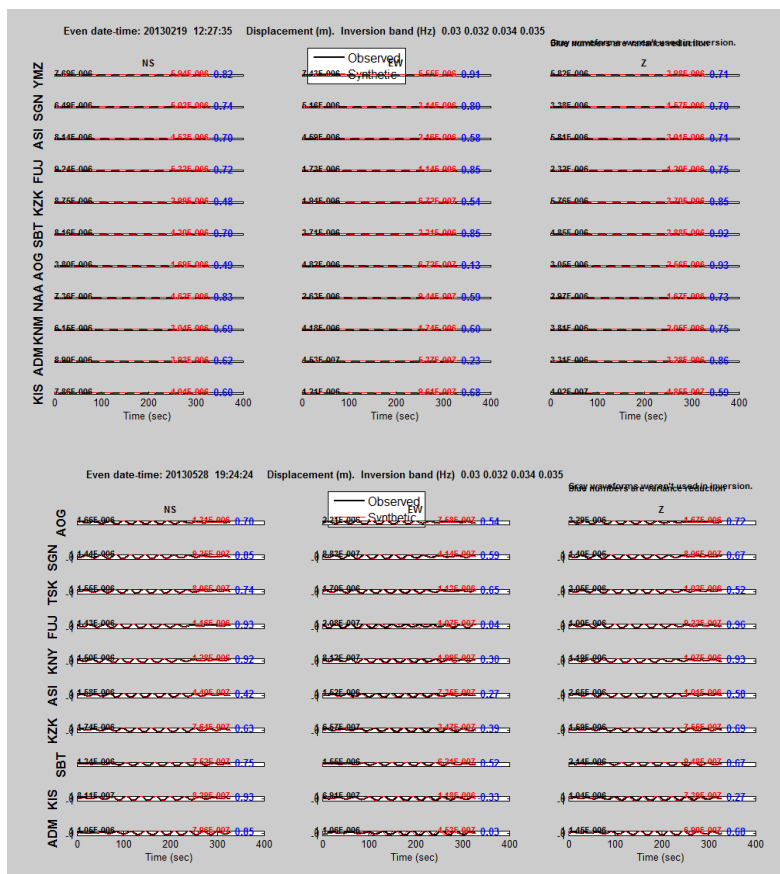


Even date-time: 20120229 14:32:46 Displacement (m). Inversion band (Hz) 0.03 0.032 0.033 0.035

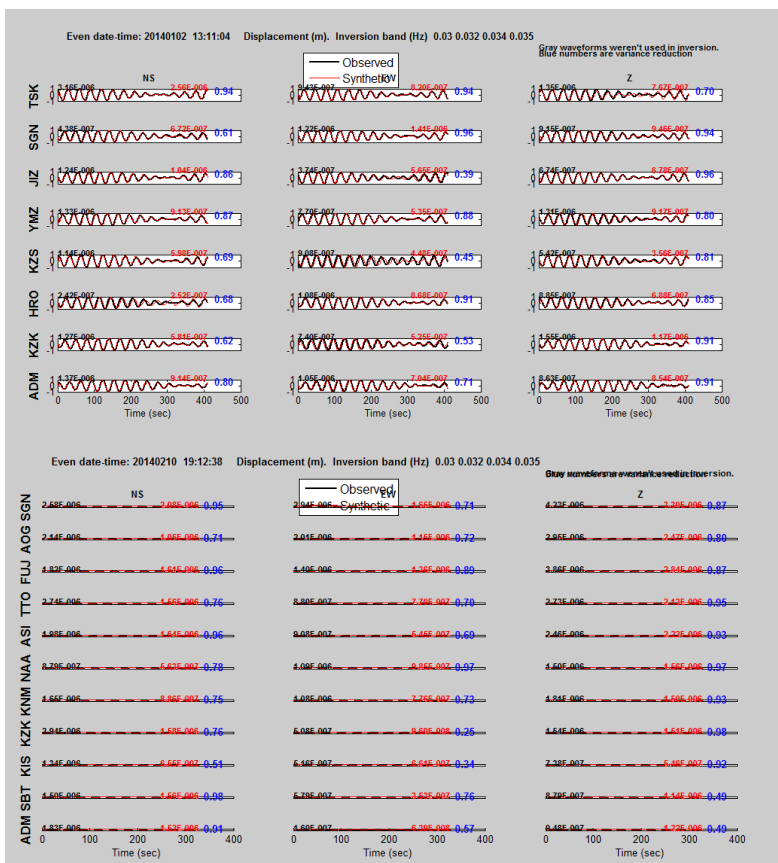


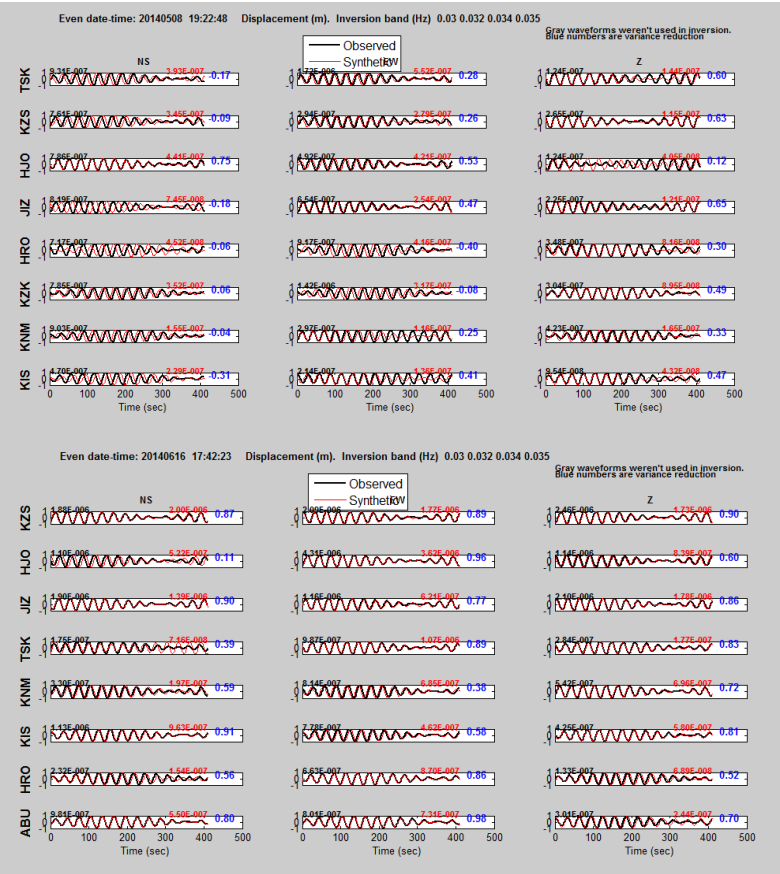


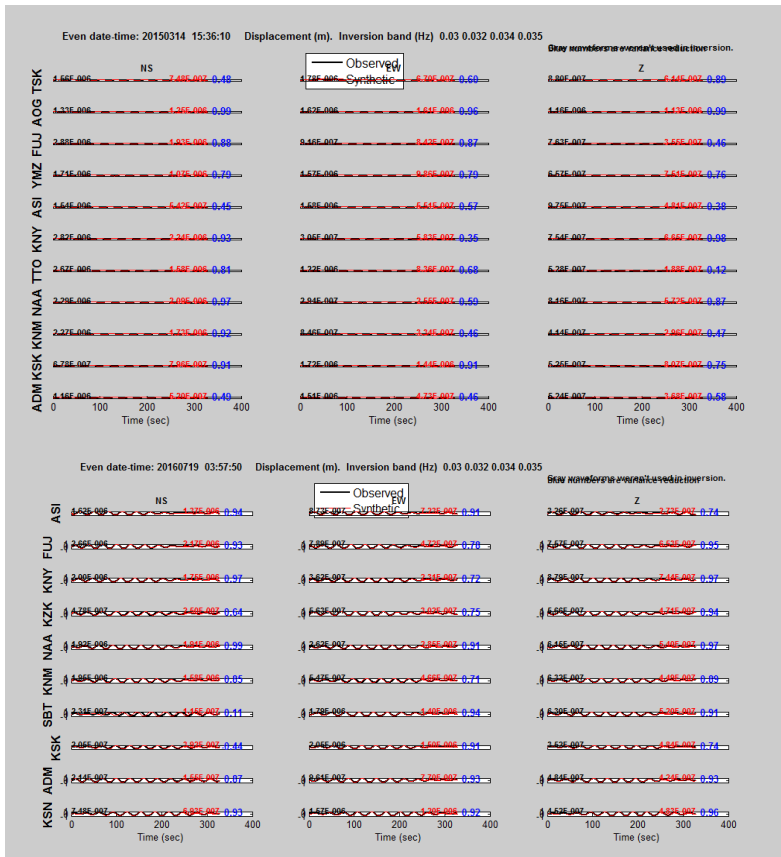


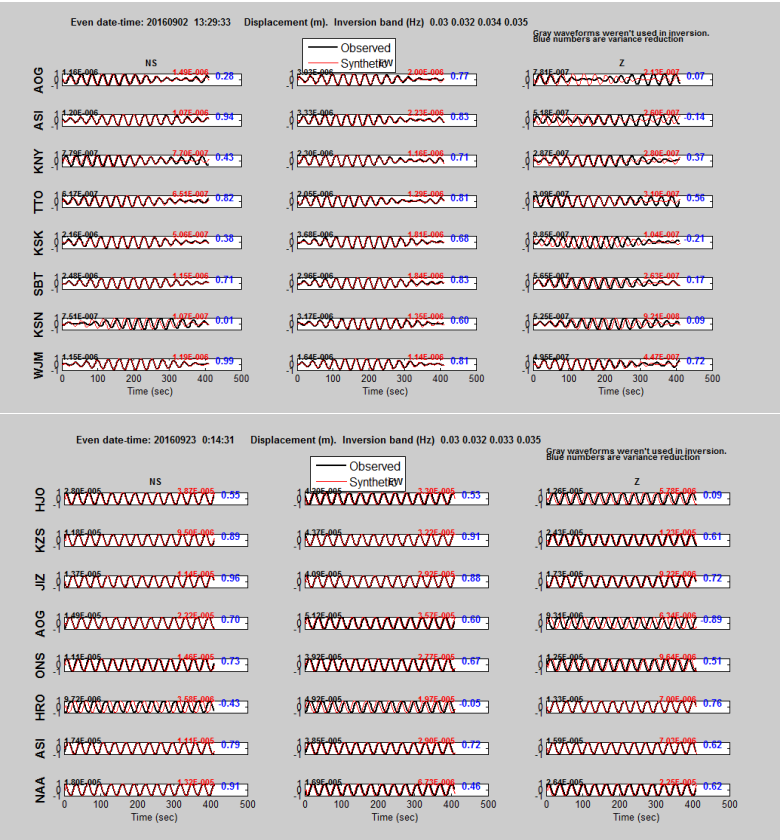






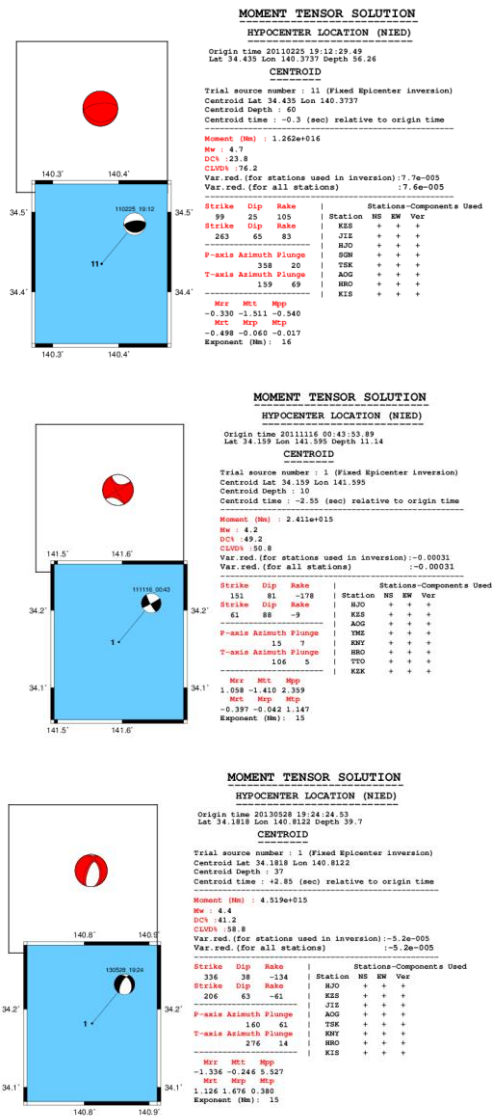


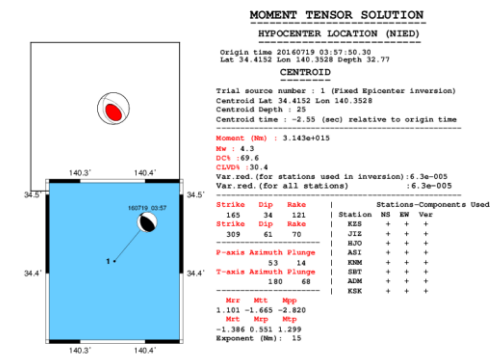
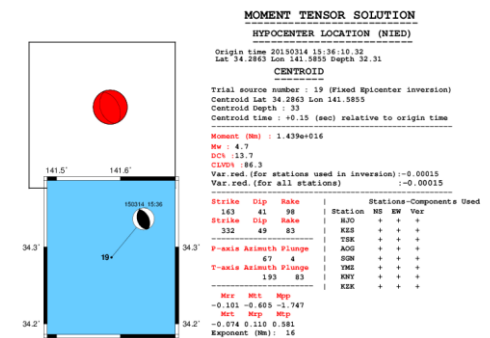
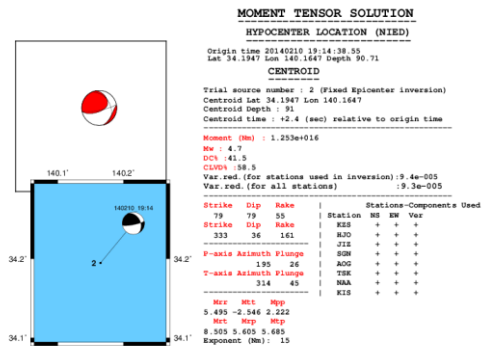


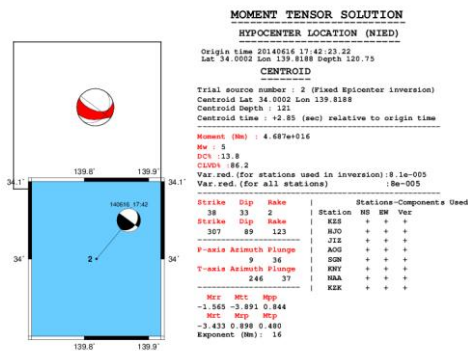


## Lampiran 3

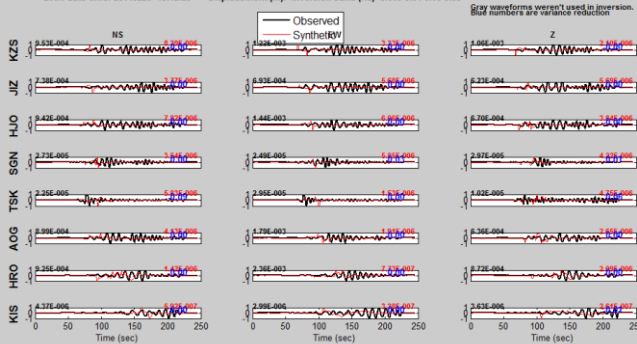
### HASIL PENGOLAHAN DENGAN FREKUENSI NIED



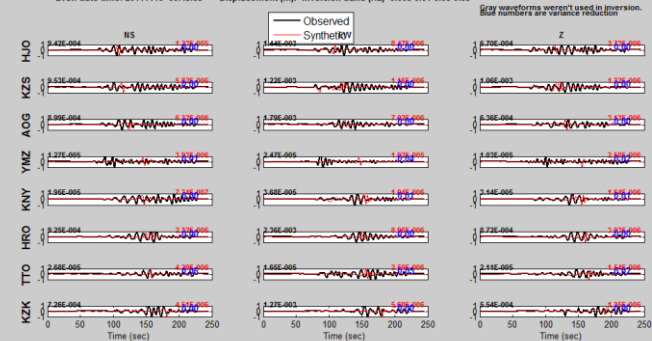


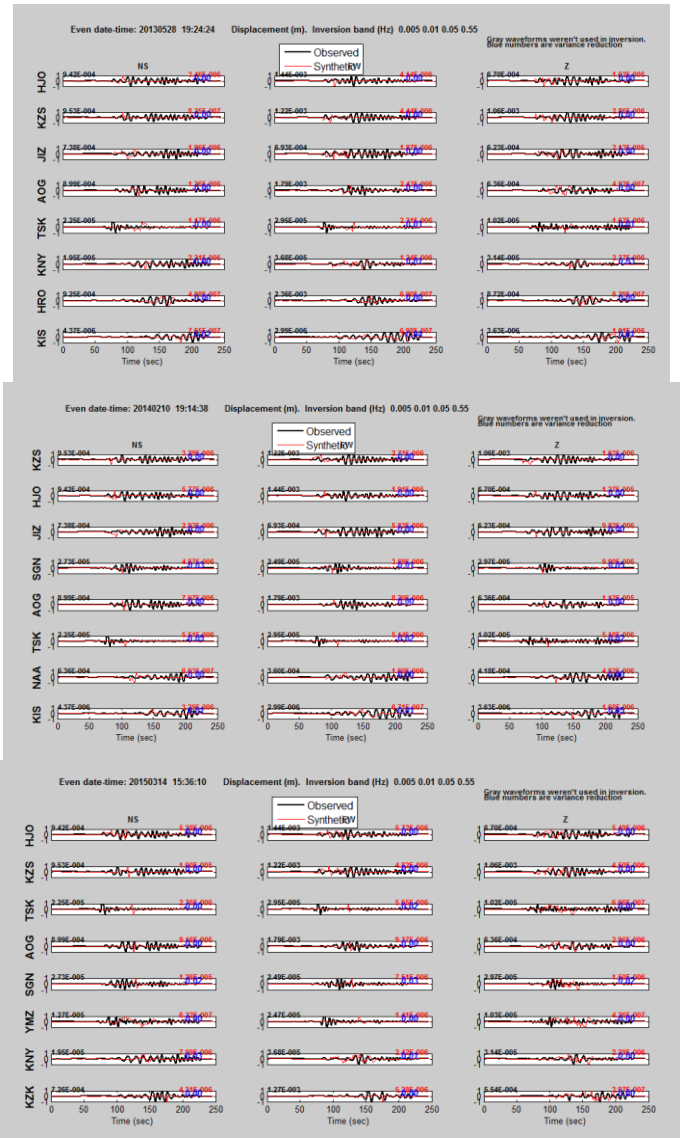


Even date time: 20110225 19:12:29 Displacement (m). Inversion band (Hz) 0.005 0.01 0.05 0.55

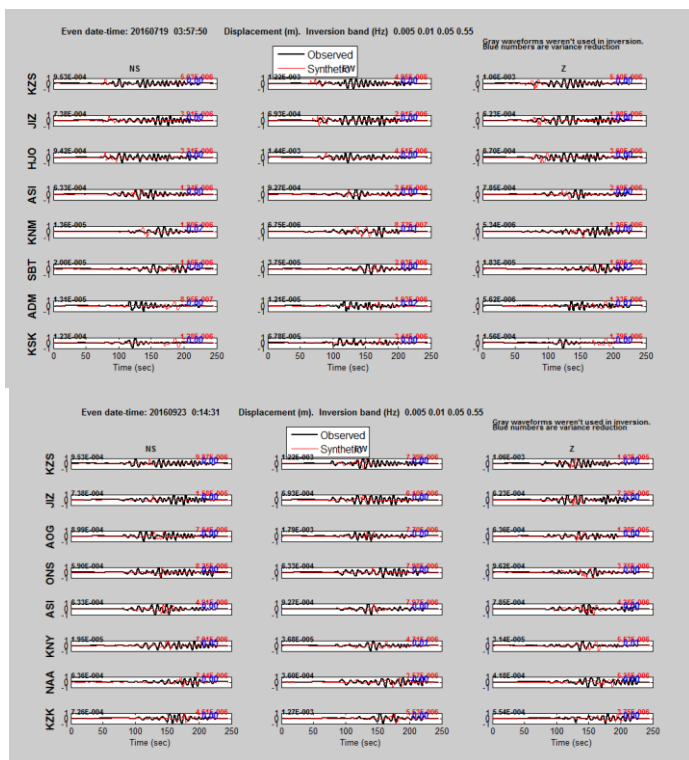


Even date time: 20111116 00:43:53 Displacement (m). Inversion band (Hz) 0.005 0.01 0.05 0.55





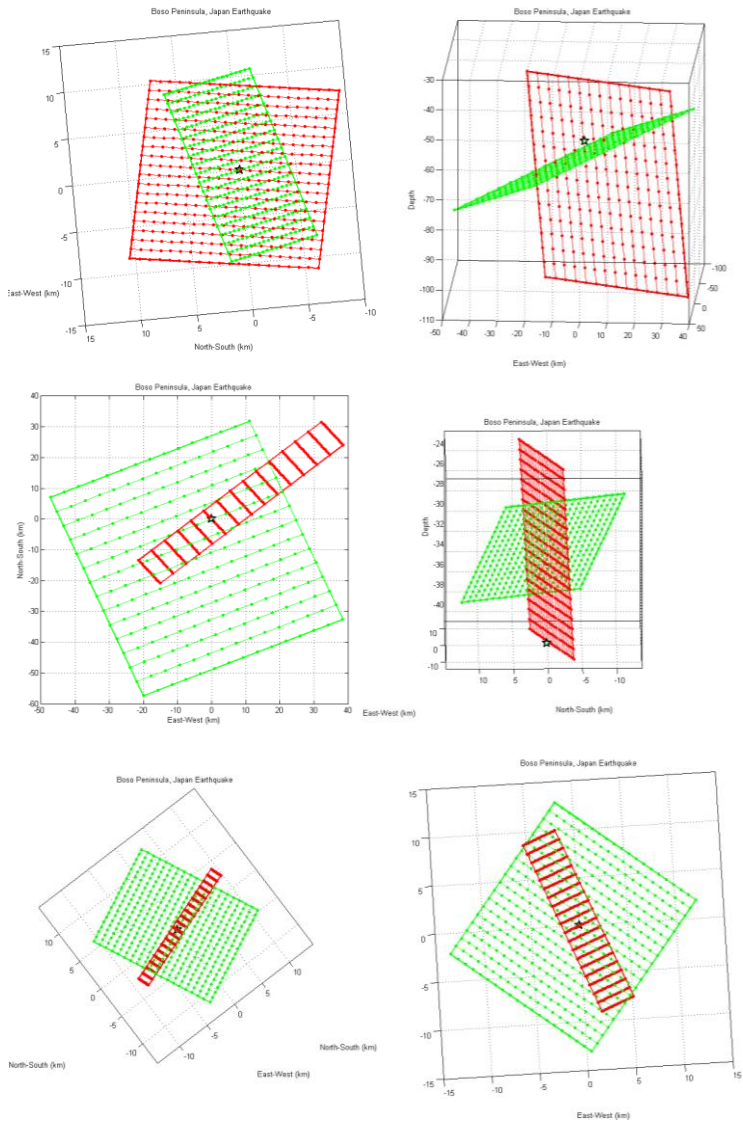


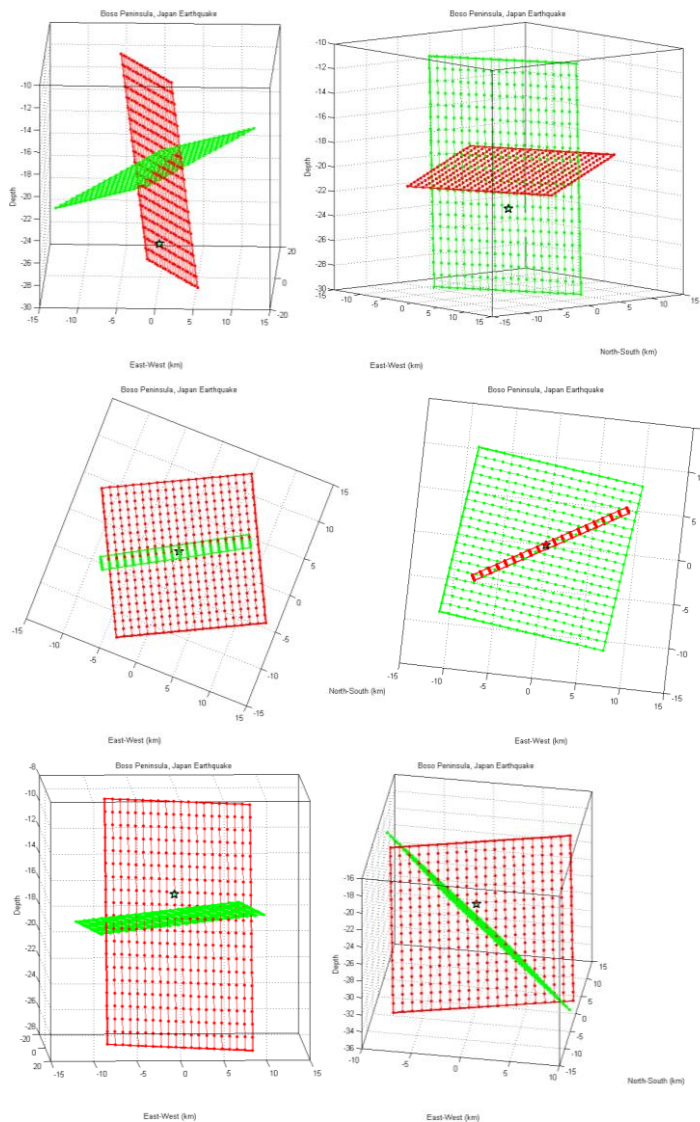


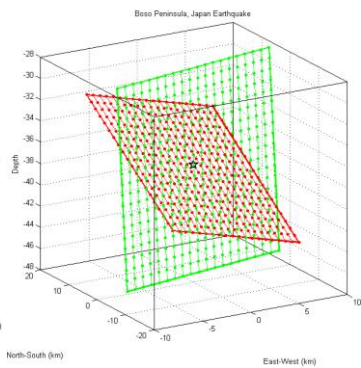
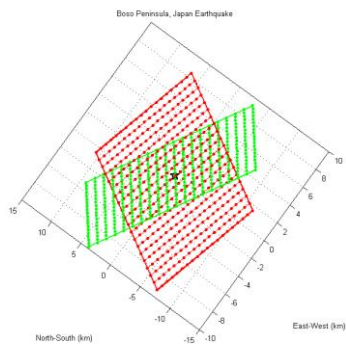
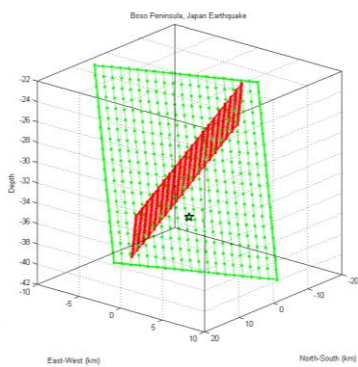
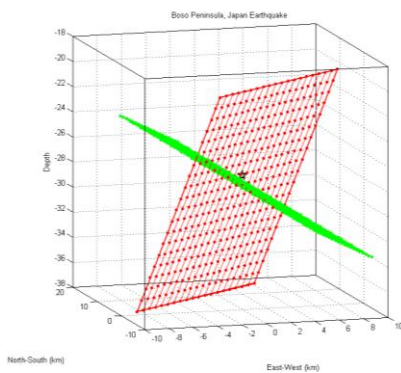
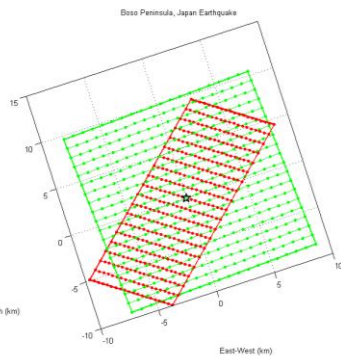
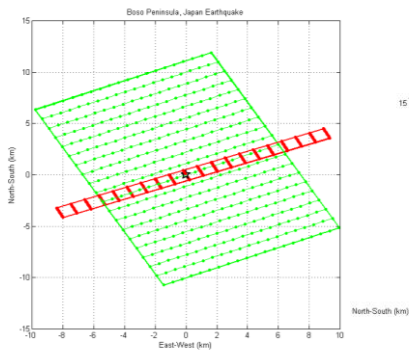
*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*

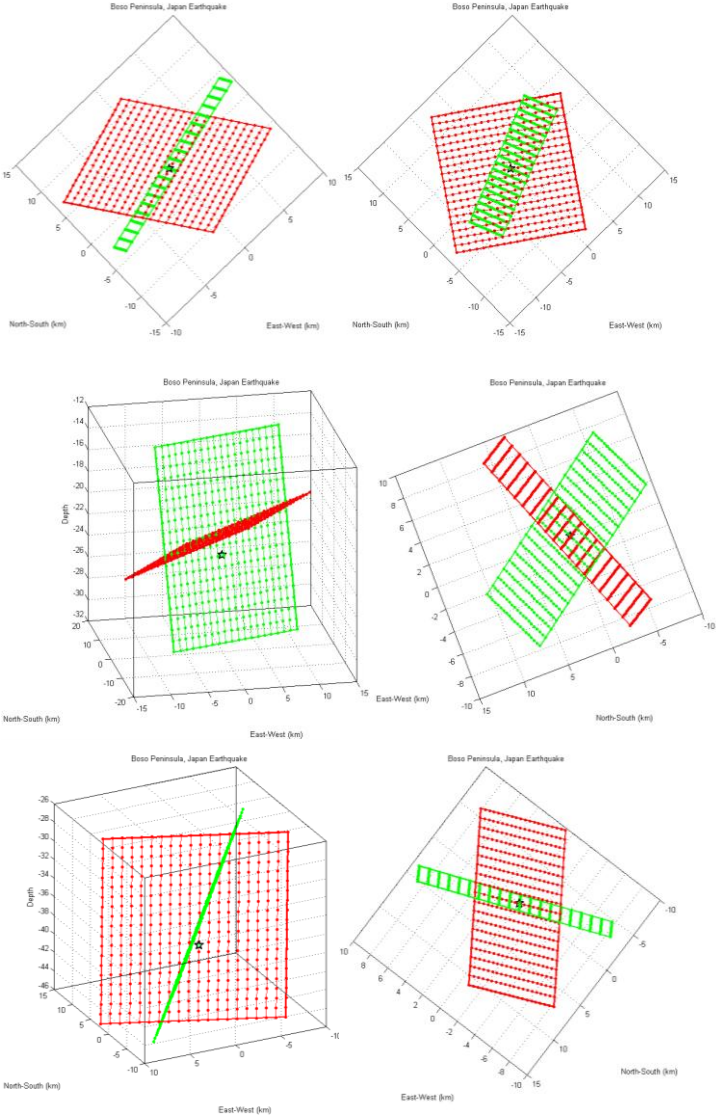
## Lampiran 4

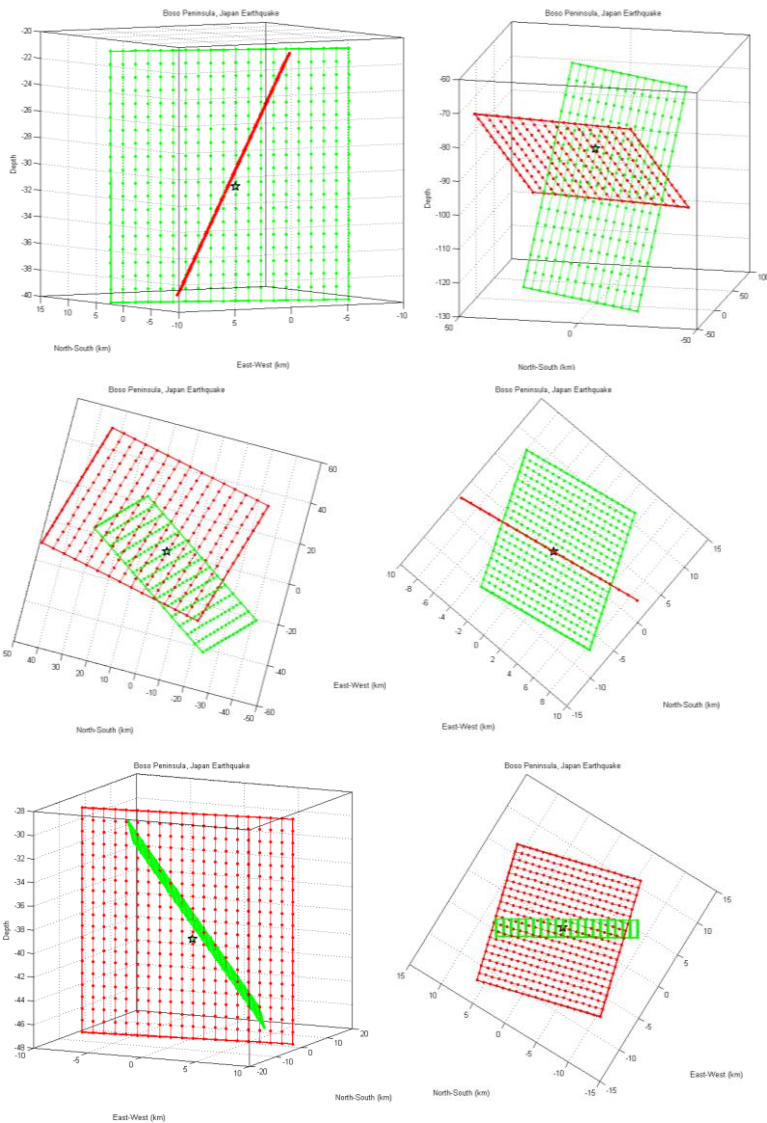
### BIDANG PATAHAN BERDASARKAN HC PLOT



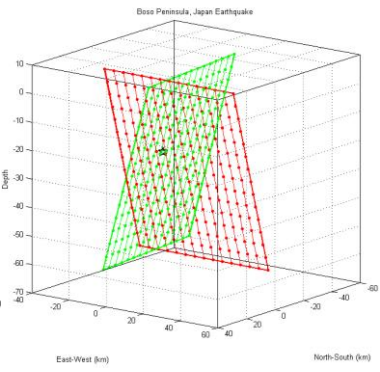
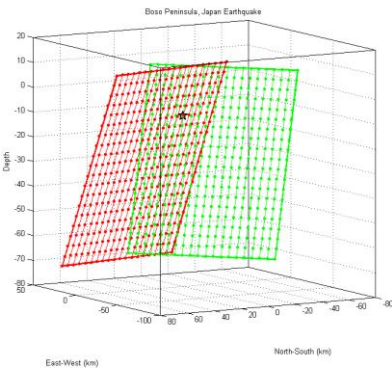
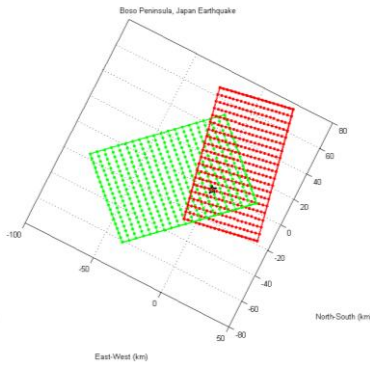
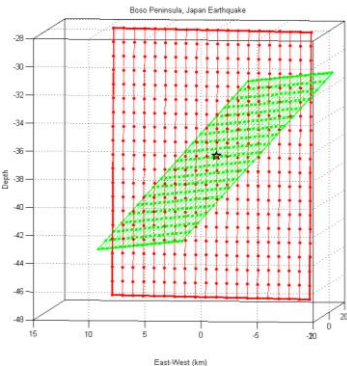
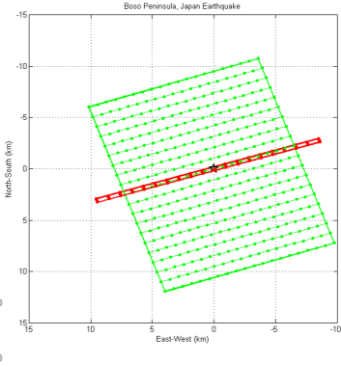
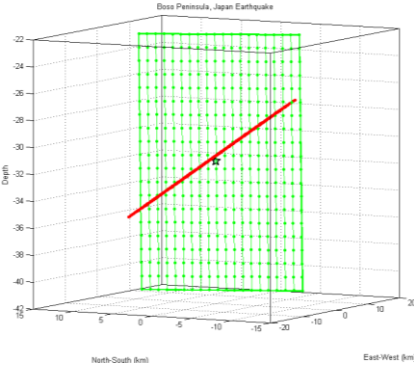






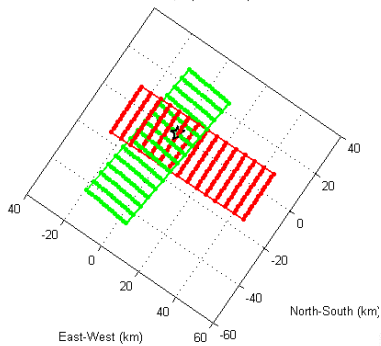




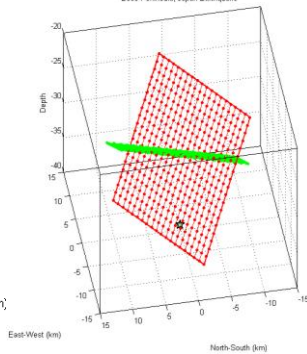




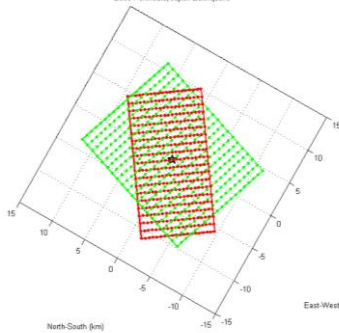
Boso Peninsula, Japan Earthquake



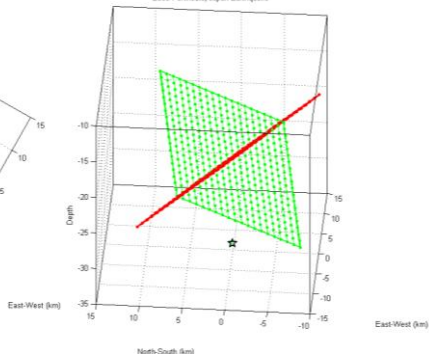
Boso Peninsula, Japan Earthquake



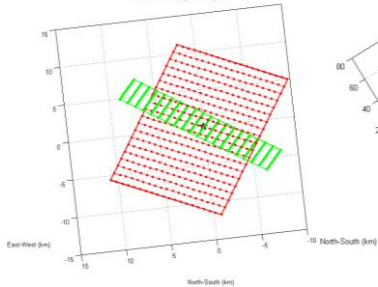
Boso Peninsula, Japan Earthquake



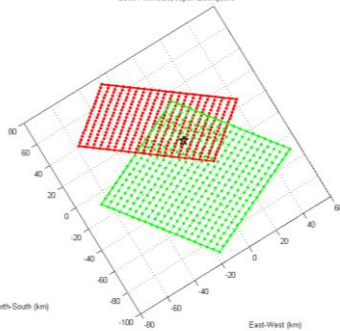
Boso Peninsula, Japan Earthquake

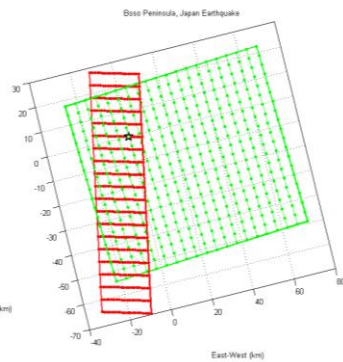
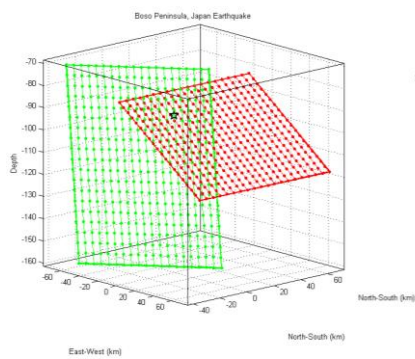
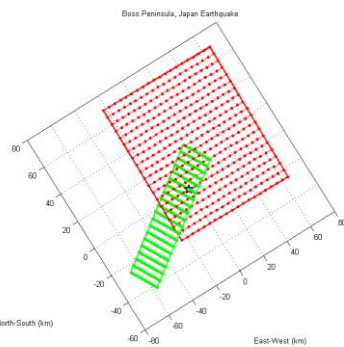
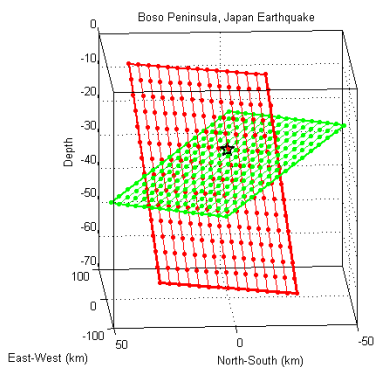
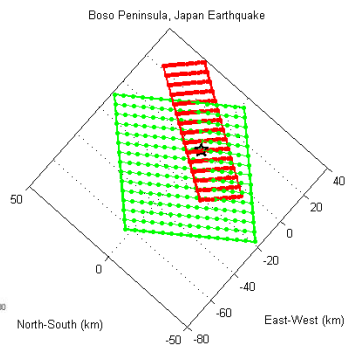
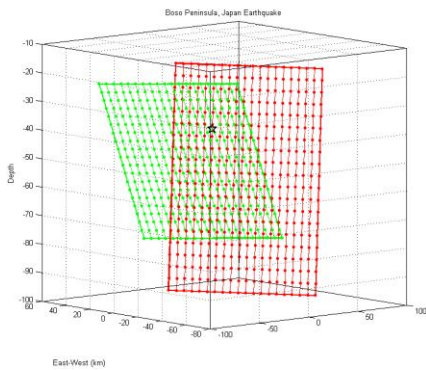


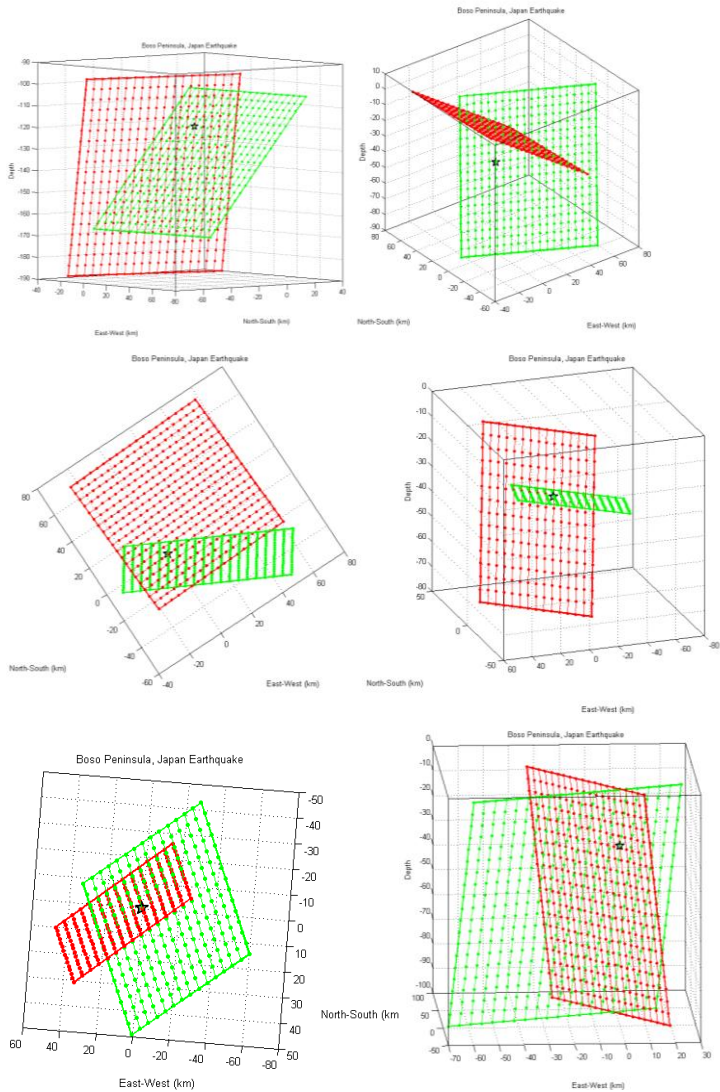
Boso Peninsula, Japan Earthquake

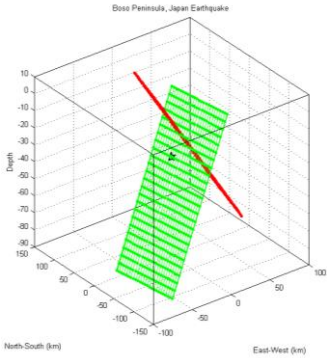
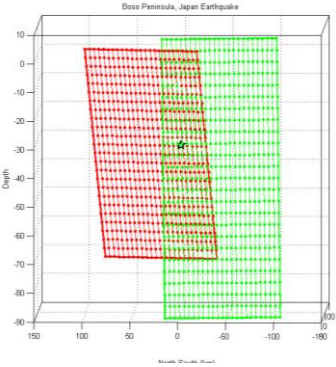
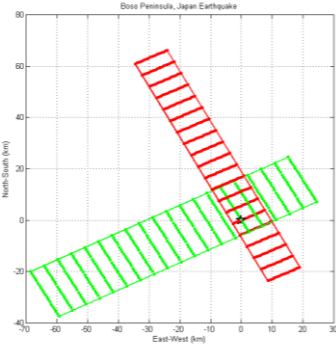


Boso Peninsula, Japan Earthquake

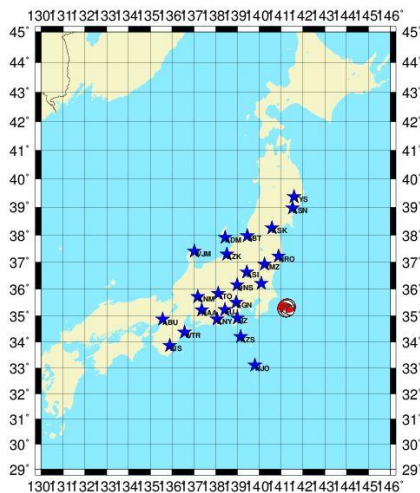




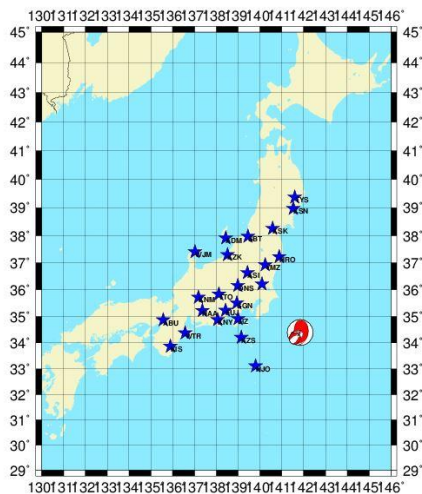




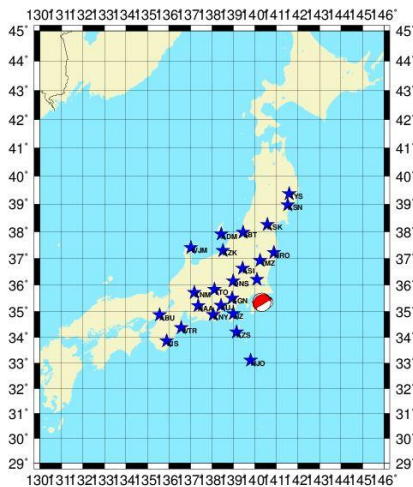
**Lampiran 5**  
**POLA BEACHBALL BOSO PENINSULA 5 TAHUN**  
 Gabungan *Event* gempa region East OFF Boso Peninsula:



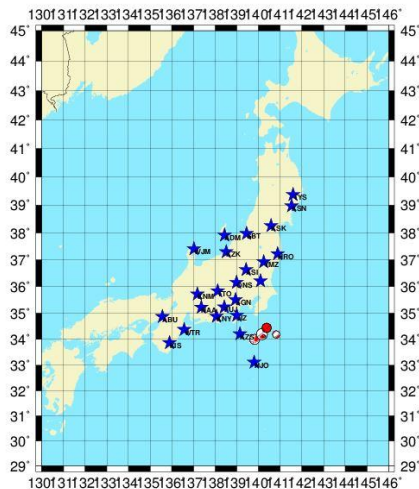
Gabungan *Event* gempa region FAR SE OFF Boso  
 Peninsula:



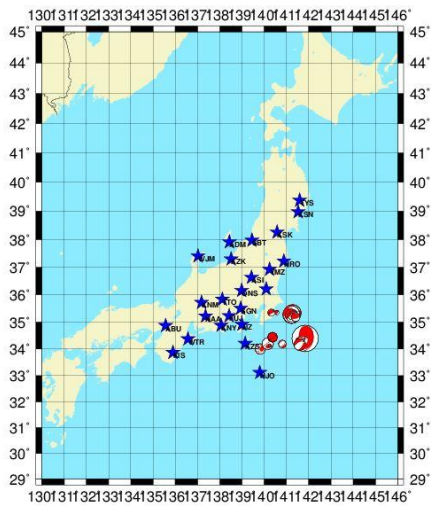
Gabungan *Event* gempa region KUJUKURI Boso Peninsula:



Gabungan *Event* gempa region FAR S OFF Boso Peninsula:

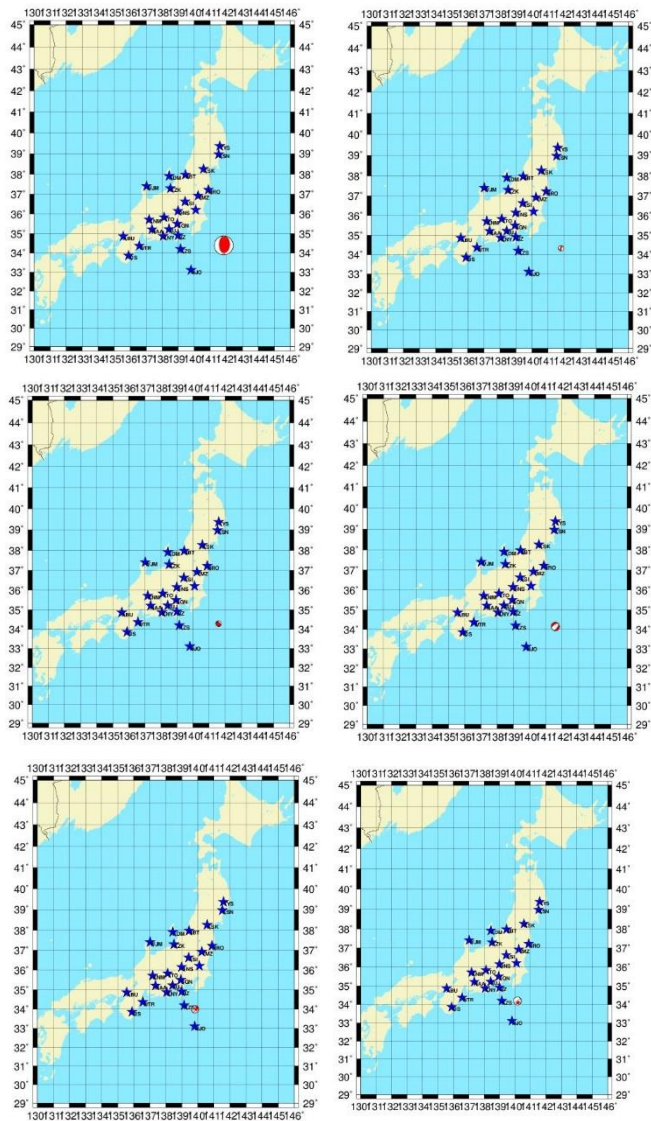


Gabungan *Event* gempa 5 Tahun Boso Peninsula:





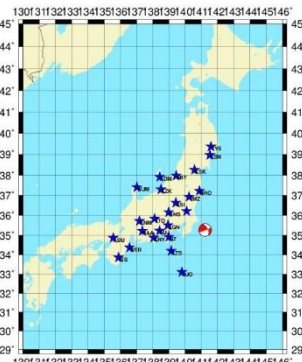
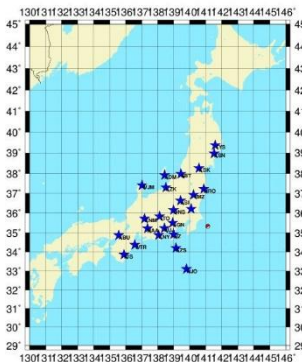
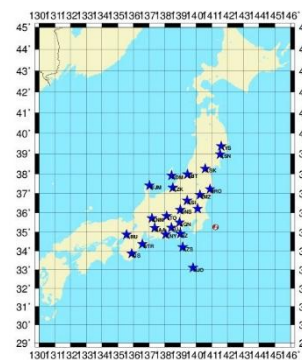
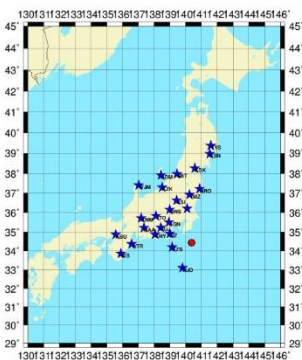
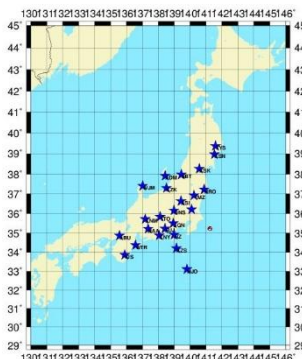
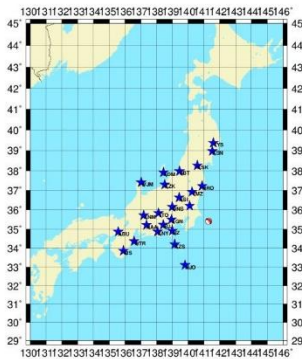
## Secara berurutan *plotting event* gempa pada GMT:

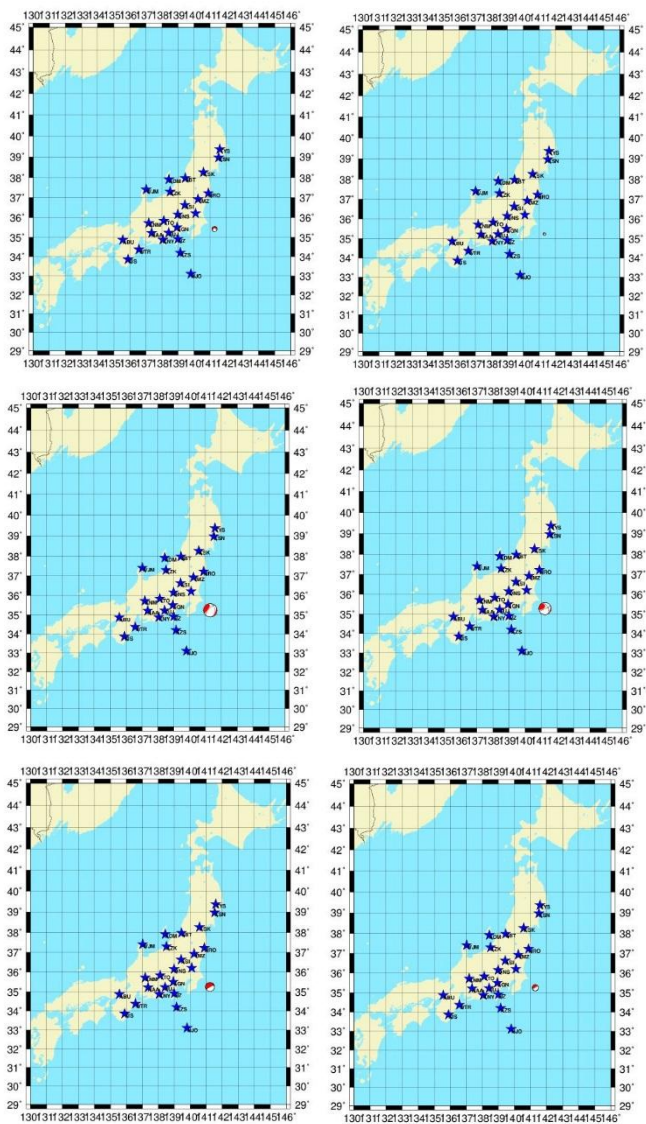


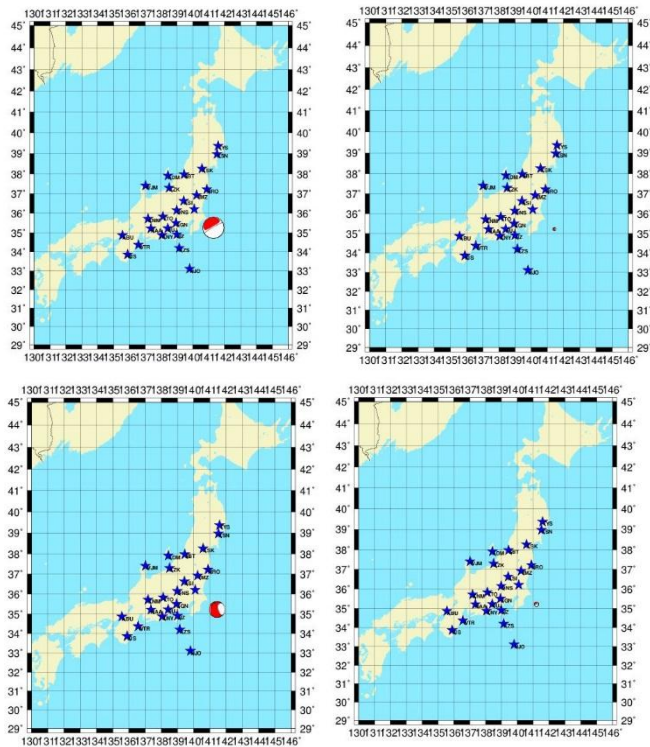




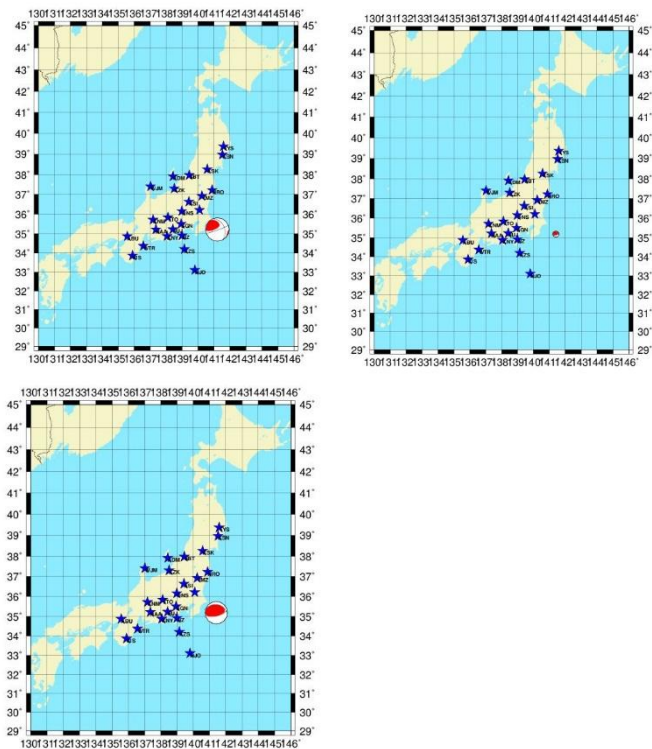












### **Biodata Penulis**



Penulis dilahirkan di Jakarta, 03 Maret 1994, merupakan anak kedua dari 5 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDS Tunas Kasih Jakarta Timur, SMPS Budhaya III St. Agustinus Jakarta Timur, SMAN 12 Jakarta Timur. Penulis mengikuti SNMPTN tertulis dan melalui seleksi Mandiri diterima di jurusan Fisika FMIPA-ITS pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP. 1112100109.

Di jurusan Fisika FMIPA-ITS ini Penulis mengambil Bidang Fisika Bumi. Penulis aktif di kegiatan organisasi baik dalam kampus maupun luar kampus. Organisasi yang penulis ikuti didalam lingkup kampus adalah Himpunan Mahasiswa Bona-Pasogit (MBP), aktif sejak mahasiswa baru (maba) sebagai seretaris angkatan 2012, dan panitia acara besar periode 2013-2015, aktif sebagai bendahara dan sekretaris periode 2014-2015. Aktif di luar kampus yaitu Perkantas Jawa Timur sebagai anggota kepanitiaan acara besar periode 2014-2017 dan Naposobulung NHKBP Manyar periode 2013-2016 sebagai anggota divisi Internal. Aktif di beberapa kegiatan olahraga yang di selenggarakan oleh BEM FMIPA dan UKM Basket ITS.